

ŘADA B
PRO KONSTRUKTÉRY
ČASOPIS
PRO RADIOTECHNIKU
A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ
ROČNÍK XXVI/1977 ČÍSLO 3

V TOMTO SEŠITĚ

Jak dál ve Svazarmu 81

ELEKTRONICKÁ HUDBA

Fyzikální vlastnosti zvukových signálů

Zvuk, tón 82

Výška tónu 82

Zvukové zabarvení 82

Dynamika 83

Časový průběh 83

Základy hudební teorie

Druhy ladění 84

Oktáva, ustálené uspořádání

klaviatury 85

Stupnice, akordy 85

Stabilita ladění 85

Elektronická syntéza barvy zvuku

Rozbor spektra základních

periodických signálů 86

Způsoby využití základních

signálů 86

Elektronické hudební nástroje

Ohlédnutí do historie 87

Druhy elektronických nástrojů 87

Jednohlasé elektronické

nástroje 88

Nástroje vícehlasé 93

Polyfonní nástroje 96

Syntetizéry 106

Elektronické vytváření efektů 107

Problémy systémového a obvodového

návrhu

Koncepce nástroje 109

Funkce a vlastnosti dílčích

obvodů 110

Celkové schéma nástroje 116

Vlastní konstrukce nástroje

Mechanická koncepce 119

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelsví Magnet, dislavova 26, PSČ 113 66 Praha 1, telefon 06 57-1. Šéfredaktor ing. F. Smolik, zástupce boš Kalousek. Redakční rada: K. Bartoš, V. Brzák, Donát, A. Glanc, I. Harminc, L. Hlinský, P. Horák, Iradský, ing. J. T. Hyán, ing. J. Jaroš, doc. ing. dr. Joachím, ing. F. Králík, prom. fyz. L. Kryška, PhDr. Křížek, ing. I. Lubomírský, K. Novák, ing. O. Petráč, ing. J. Vackář, CSC., laureát st. ceny KG, J. J. Zima, J. Ženíšek, laureát st. ceny KG. Redakce Igmanova 24, PSČ 113 66 Praha 1, telefon 06 51-7, šéfred. linka 354, redaktor I. 353. Čně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, celotní předplatné 30 Kčs. Rozšiřuje PNS, v jednot- ch ozbrojených sil vydavatelsví Magnet, ministrace Vladislavova 26, Praha 1. Objed- vky přijímá každá pošta i doručovatel. Hledací pošta Praha 07. Objednávky do zahra- ní vyřizuje PNS, vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1. kne Naše vojsko, n. p., závod 08, 162 00 Praha liboc, Vlastina 710. Inzerce přijímá vydavatelsví ignet, Vladislavova 26, PSČ 113 66 Praha 1, efon 26 06 51-7, linka 294. Za původnost a správ- pěvku ručí autor. Návštěvy v redakci a tele- otazy pouze po 14 hodině. Číslo indexu

o vyšlo 6. května 1977

átelství MAGNET, Praha

K politickému a společenskému životu naší socialistické společnosti patří jako jedna z nejvýznamnějších složek společenské organizace, sdružené v Národní frontě. Aby tyto organizace mohly plnit svoje poslání v rámci socialistické demokracie, je třeba, aby každá z nich měla svůj program, který by odpovídal jak celospolečenským potřebám, tak i potřebám členů těchto organizací.

Mezi nejdůležitější společenské organizace patří nesporně i Svazarm, Svaz pro spolupráci s armádou; jako vlastenecká branná organizace. Aby se dále posílila společenská funkce Svazarmu ve smyslu usnesení předsednictva ÚV KSČ, bylo Svazarmu uloženo, aby každá z jeho odborností (motoristé, letci, radioamatéři atd.) vypracovala svůj vlastní program, v němž by byly zachyceny nejpodstatnější směry rozvoje organizace. Proto vznikla koncepce radistické činnosti ve Svazarmu, jejíž přesné znění uveřejňuje redakce v AR řady A a k níž se vracíme v úvodnicích AR řady B komentářem.

Radisté ve Svazarmu mají za 25 let své činnosti mnoho zkušeností, dosáhli mnoha úspěchů, ale měli i problémy. Proto se při zpracování koncepce radistické činnosti vycházelo ze závěrů XV. sjezdu KSČ, zejména pokud se týkaly oblasti rozvoje, prohlubování a uspokojování zájmů pracujících a prohlubování masového vlivu jednotlivých organizací Národní fronty. Přihlíželo se i v duchu záměrů strany, jako vedoucí složky naší společnosti, k závěrům jednání ÚV KSČ z července 1973 k socialistické výchově mladé generace, které byly konkretizovány 5. sjezdem Svazarmu. Protože žijeme v době nástupu vědeckotechnické revoluce, muselo se při vypracování koncepce přihlížet i k této skutečnosti, jak ji charakterizovaly závěry zasedání ÚV KSČ z května 1974 k vědeckotechnickému rozvoji v národním hospodářství, které byly rozpracovány 3. zasedáním ÚV Svazarmu.

K vypracování koncepce konečně přispěla i nutnost komplexně řešit otázky náplně odborně technické složky branné výchovy ve Svazarmu v duchu usnesení předsednictva ÚV KSČ o Jednotném systému branné výchovy obyvatelstva.

Vším tím byl dán předpoklad k tomu, že koncepce radistické činnosti bude v souladu s požadavky celospolečenské potřeby a že se bude radistika ubírat tím směrem, který je potřebný a nutný.

V této úvodní části, zachycující nejdůležitější všeobecné zásady, z nichž zpracovatelé koncepce vycházeli, je třeba ještě uvést i to, na co byl při zpracování koncepce položen největší důraz, pokud jde o požadavky na Svazarm, o mládež a o počet členů naší organizace. Koncepce totiž musela vystihnout i takové skutečnosti, jako nárůst požadavků na technické znalosti pracujících – netechniků, a to v souvislosti s prodlužováním volného času, v souvislosti se zvyšujícími se požadavky na obsluhu moderních vojenských zařízení (v tomto bodu je především třeba podchytit a usměrnit zájmy mládeže „předvojenského“ věku); u pracujících – techniků umožnit prohlubování dosud nabytých znalostí a zkušeností a podchytit vznik a růst nových specifických zájmů (jichž několik přibývá každým rokem) v oblasti vojenské, průmyslové a spotřební elektroniky. A konečně bylo třeba se zamyslet i nad žádoucím vztahem mezi masovostí a užší specializací; nad koncepcí radistických sportů, jako je hon na lišku, fotografie, radistický víceboj atd., což jsou sporty, jejichž náplň má

úzký vztah jak k předvojenské přípravě specialistů v oboru radistiky pro armádu, tak i k „udržování se ve formě“ u vojáků v záloze.

Přitom všem bylo třeba, aby koncepce, vzhledem ke své dlouhodobé platnosti, umožnila pružně vnášet do své podstaty a do svého obsahu všechny nové jevy, které vývoj elektroniky (a nakonec i vývoj společnosti) přináší do společenských procesů a tím i do činnosti Svazarmu.

To jsou tedy všechna podstatná východiska, z nichž se při vypracování koncepce vycházelo. Na závěr tohoto stručného výčtu východisek by bylo myslím třeba dodat, že koncepce byla koncem minulého roku dokončena a začátkem roku schválena ÚV KSČ jako základní dokument k rozvoji radistické činnosti ve Svazarmu.

Protože při návrhu plánu činnosti je vždy třeba vycházet ze současného stavu a stanovit si cíle, které by byly reálné (což bez zhodnocení současného stavu nelze, nebo lze pouze těžko), je součástí návrhu koncepce i kapitola o současném stavu radistické činnosti ve Svazarmu. Kdo čte AR pravidelně, ví z drobných zpráv i z delších reportáží z hnutí a z fotografií na obálkách, které dokumentují činnost jednotlivých organizací Svazarmu, jak asi vypadá v současné době činnost průměrné svazarmovské organizace. Z reportáží z expedic redakce AR po republice i ví, jak asi vypadá činnost těch nejlepších organizací. Z otištěných zpráv a reportáží je zřejmé, že nejlepšími výsledky dosáhly svazarmovské organizace i jejich nadřazené složky tehdy, rozvíjela-li se jejich činnost v jednotě ideově politické a odborné, sledovala-li hlavní cíle výchovy socialistického člověka – budovatele a obránce vlasti. Z reportáží je zřejmé, že Svazarm, jako dobrovolná branná společenská organizace, dosáhl řady pozitivních výsledků v rozšiřování zájmů občanů a zejména pak mládeže o elektroniku, získal mnoho mladých lidí do výcviku v rámci přípravy na službu v armádě, umožnil nejlepším z nejlepších reprezentovat naši socialistickou republiku na mezinárodních závodech, v nichž naši sportovci byli vždy mezi předními atd. Nejpodstatnější však je, že Svazarm podstatně a ve shodě s celosvětovým trendem postupně spojil individuální a úzce zájmovou činnost – radistiku s celospolečenskými zájmy, s brannými cíli, obohatil ji obsahově v souladu s vývojem radiotechniky a elektroniky a vyvinul velké úsilí k tomu, aby radistika a elektronika „přešla do krve“ co největší části obyvatelstva. Jako správné se ukázalo i založení kolektivních radiostanic, protože, jak jistě každý ví, týmová práce je v dnešní době téměř nezbytná, jedinec většinou není (a snad to ani není v jeho silách) schopen zvládnout teoreticky i prakticky celou oblast technického oboru, který se rozvíjí tak rychle; jako elektronika.

V koncepci šlo proto také o to, jak podpořit týmovou práci, jak šířit technické znalosti v souvislosti s vědeckotechnickou revolucí a to navíc přitažlivou formou, jak rozvíjet zájmovou technickou činnost tak, aby se do ní zapojilo co možná největší množství mladých lidí a jak pracovat v oblasti vrcholového sportu a plnit přitom heslo „Za masovost – za rekordy“.

(Pokračování)

Elektronické HUDEBNÍ NÁSTROJE

František Kyrš

Přesto, že historie aplikací elektronických nebo elektromechanických systémů v konstrukci hudebních nástrojů sahá prakticky až do počátků našeho století, používají se nástroje tohoto typu u nás dosud spíše výjimečně (nejčastěji majetnější hudební skupiny). Pro domácí, zájmové provozování hudby se přes řadu výhodných vlastností dosud výrazněji neprosadily. Nejzávažnějším omezením jsou jistě především vysoké, řádově desetitisícové ceny nástrojů, dostupných na našem trhu. V zahraničí je situace poněkud jiná. Sortiment výrobců elektronických hudebních nástrojů je rozsáhlý, od nejjednodušších jednohlasových hraček až po několikamanuálové giganty (včetně stavebnic, nabízených k amatérské kompletaci). Při konstrukci těchto nástrojů, zvláště v posledním desetiletí, se využívá progresivních a často i speciálních konstrukčních prvků, u nás dosud nedostupných. Amatérská stavba i jednoduchého nástroje v našich podmínkách naopak naráží od počátku na řadu problémů, ať již s obstaráváním materiálů nebo součástí, či s technické nebo „ekonomické“ oblasti.

Starší harcovníci tvrdí, že kdo „uvízne drápkem“, má postaráno o zábavu na celý život. I když je to tvrzení poněkud nadnesené, je v něm současně i kus pravdy – stavba kvalitního nástroje vyžaduje dokonalou znalost problematiky a určité přístrojové i dílenské vybavení stejně jako manuální zručnost. Konstrukce je obvykle poměrně náročná i časově, ceny polovodičových prvků a zvláště integrovaných obvodů pak hrozí vydrancováním rodinné pokladny. Realizovat velké nástroje varhanového typu může zatím proto jen skutečně úzký okruh konstruktérů. Přesto se u nás elektronické hudební nástroje v nejrůznějších variantách staví a staví se dobře. Důvody jsou zřejmé, navíc se jedná o perspektivní a zajímavý konstrukční obor.

Když jsem byl i já zlákan (zpočátku spíše proti své vůli) ke stavbě něčeho, na co by se dalo hrát, uvědomoval jsem si nejen atraktivnost konečného cíle, ale i naprostý nedostatek vhodné literatury. Okruh lidí, kteří s touto speciální technikou mají kontakt, je poměrně úzký a tím jsou omezeny by i jen základní informace pro technickou veřejnost. Pak je pro každého, kdo se navíc orientuje v hudbě tak nesnadno jako já, poměrně obtížné vyznat se v principech, systémových a dílčích problémech oboru.

Proto jsem uvítal nabídku redakce, aby zpracoval získané poznatky a zkušenosti do tohoto čísla AR-B, které se zabývá především klávesovými elektronickými nástroji. Obsah je členěn prakticky do tří částí. První se věnuje systematicky celé problematice. V ní jsem se snažil stručně zpracovat nejdůležitější fakta a postřehy ve formě příručky tak, aby sloužily vážnějšímu zájemcům jako úvod k hlubšímu vlastnímu studiu. Ve druhé části je pojednáno o koncepci amatérského nástroje a o problémech, spojených s výběrem vhodného systému. Tato část je v závěru zaměřena na návrh relativně jednoduchého nástroje, který je podle mého názoru (jako kompromis mezi kvalitou a náklady) vhodný

pro širší okruh zájemců o konstrukci elektronického hudebního nástroje. Třetí část se pak zabývá realizací nástroje, tedy popisem stavby, oživení a ladění.

Fyzikální vlastnosti zvukových signálů

Zvuk, tón

Jedním ze smyslů, jímž člověk reaguje na podněty vnějšího okolí, je sluch, kterým vnímáme akustické podněty, označované souhrnně jako zvuky. Zdrojem jejich vzniku jsou kmity tuhých nebo pružných těles, mechanických soustav; prostředím pro šíření zvukových signálů je v běžných podmínkách vzduch. Rozruch, vznikající na rozhraní kmítající soustavy a okolního vzduchu je prostředím přenašen k lidskému uchu. Víme, že jako zvuk vnímáme pouze signály v určité kmitočtové oblasti.

Harmonické (sinusové) mechanické kmity (akustické) leží přibližně v oblasti 16 Hz až 20 kHz, nazývané zvukovou (akustickou) oblastí. Kmitočtová oblast, ležící pod spodní hranicí tohoto rozsahu, se nazývá infrazvuková (subakustická), nad jeho horní hranicí pak ultrazvuková.

Jako zvuk tedy označujeme libovolný akustický projev v uvedené kmitočtové oblasti bez dalších specifikací, ať již pochází z jednoho zdroje, nebo je složen ze signálů několika zdrojů.

Naproti tomu tón je určitým druhem zvuku, jehož charakteristickým rysem je relativně stálý, periodický opakovací kmitočet f_0 , z hudebního hlediska tedy výška tónu. K zařazení mezi tóny není důležité, jaký průběh mají kmity tohoto signálu. Pro posouzení kvalitativních a kvantitativních vlastností libovolného tónu je však třeba znát širší soubor parametrů. Jsou jimi především výška tónu, zabarvení tónu, dynamika a časový průběh těchto parametrů.

Výška tónu

Výška tónu je nejdůležitějším kvalitativním parametrem tónu. Odlišnost jednotlivých tónů z tohoto hlediska spočívá v jejich různých opakovacích kmitočtech. Způsob definice tónů, užívaný v hudbě, nevychází

ovšem z fyzikálních jednotek [Hz], ale z notového a hláskového označení, stanoveného podle zcela přesných pravidel. Tak např. často užívaný modulační kmitočet 440 Hz je pro hudebníka jednoznačně tónem a'. Kmitočtový poměr dvou tónů se nazývá interval. Interval tvoří základ jednotlivých způsobů ladění, stavby stupnic a akordických souzvuků.

Stupnice je vybraná řada tónů v rozsahu jedné oktávy. Oktávou nazýváme buď poměr dvou tónů, který je roven 2:1, nebo obsah všech tónů, příslušných tomuto intervalu. Vnitřní oktávová struktura, tj. uspořádání jednotlivých tónových intervalů, závisí na způsobu ladění, který je ke stavbě oktávy použit. Toho si všimneme dále. Počet oktáv nástroje vlastně určuje kmitočtový (tónový) rozsah, jaký může nástroj zpracovat. Protože poměrná vnitřní struktura všech oktáv u jednoho nástroje je stejná, je shodné i hláskové (písmenné) označení tónů shodných poloh v těchto oktávách. Proto má každá oktáva svůj název. Jako příklad můžeme použít klavír, jehož kmitočtový rozsah je vzhledem k běžným nástrojům zvláště široký. Názvy jednotlivých oktáv (počínaje od nejnižší) jsou subkontra, kontra, velká, malá, jedno, dvou, tři, čtyři a pěticiárkovaná oktáva. Podle toho, ke které oktávě patří, se tón označuje; např. tón C se značí C_2 , C_1 , C , c , c^1 , c^2 , c^3 , c^4 , c^5 . Rozsahy některých nástrojů a lidského hlasu jsou na obr. 1, upraveném podle [5]. Spektrum vyšších harmonických je znázorněno tenkými čarami.

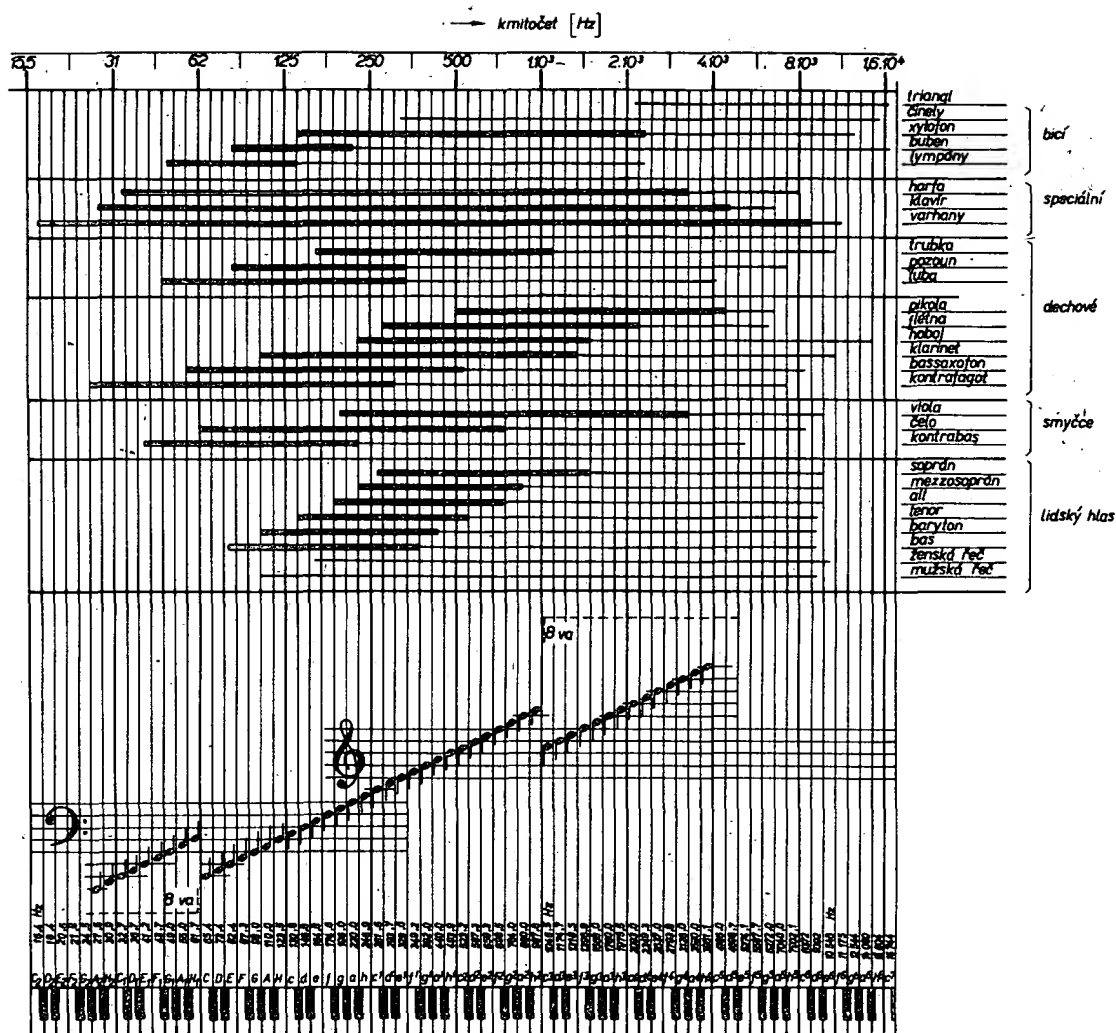
Zvukové zabarvení

Dalším významným kvalitativním rysem tónu je jeho barva. Tak např. spolehlivě rozeznáváme tón určité výšky hraný na klavíru od stejné vysokého tónu z trubky nebo jiných nástrojů. Odborník pozná i rozdíly mezi nástroji stejného typu, podobně jako většina z nás pozná podle hlasu své známé a přátele.

Důvodem rozdílů v barvě tónů je různé spektrální složení jednotlivých tónů, které je pro každý druh nástroje charakteristické. Rozvinutím časového intervalu jedné periody určitého tónu libovolného nástroje bychom zjistili, že průběh tohoto signálu má ve většině případů složitý tvar. Z harmonického (Fourierova) rozvoje je známo, že libovolný periodický signál je možno rozložit na řadu harmonických (sinusových) složek různé amplitudy, jejichž opakovací kmitočty jsou celistvými násobky (harmonickými) základního opakovacího kmitočtu (tónu). Právě počet a úroveň jednotlivých složek, zúčastněných na tvorbě komplexního průběhu, určují charakteristické zabarvení příslušného tónu.

Dalším činitelem, který má vliv na barvu tónů jednotlivých nástrojů, jsou jejich rezonanční vlastnosti, které ovlivňují poměry harmonických složek v určitých kmitočtových oblastech. Těmito problémy se zabývá tzv. formantová teorie. Každý klasický nástroj má své rezonanční oblasti. Změna výšky hraného tónu, tj. kmitočtový posuv, ovlivňuje vzájemné poměry jednotlivých harmonických složek, pokud některé z nich právě spadají do formantové (rezonanční) oblasti nástroje. U elektronických nástrojů, které





Obr. 1. Kmitočtové rozsahy některých nástrojů

mají napodobit zvukové zabarvení určitého klasického nástroje, se často modelují formantové rezonance elektronickými obvody, tzv. formantovými filtry. Nejvýraznější formantové oblasti některých nástrojů jsou v tab. 1.

Kromě stabilních formantových oblastí se však u většiny nástrojů vyskytují také oblasti pohyblivé, a to především u nástrojů strunných nebo jazýčkových. Ovlivňují však na rozdíl od stabilních oblastí spíše charakter základního tónu. Pohyblivé oblasti se obtížně vyšetřují a jejich vliv je mnohem méně výrazný.

Je třeba dodat, že určitý vliv na spektrální složení zvukového signálu má u většiny nástrojů také dynamika – při různých úrovních hlasitosti se totiž může měnit zvukové zabarvení. To dále souvisí i se subjektivním vnímáním sluchových orgánů. Problematikou spektrálního složení zvukových signálů se blíže budeme zabývat v další kapitole.

Tab. 1. Formantové oblasti vybraných nástrojů

Nástroj	Formantová oblast [Hz]
tuba	100 až 200
lesní roh	200 až 500
trombon	300 až 900
trubka	800 až 1700
saxofon	400 až 900
klarinet	300 až 600

Dynamika

Dynamika je třetím důležitým parametrem pro hodnocení zvukového nebo tónového signálu, neboť jí lze vyjádřit rozsah hlasitosti signálu (jeho kvantitu). Se změnou dynamiky se mění také kvalita poslechu, což je působeno subjektivním vnímáním zvuku a nerovnoměrnou rozlišovací schopností lidského ucha.

Citlivost (rozlišovací schopnost) ucha je především kmitočtově závislá. I když se pochopitelně jedná o případu poměrně výrazně liší, je možno z tzv. křivek stejné hlasitosti odvodit, že přibližně rovnoměrná je v rozsahu asi 500 až 5000 Hz. Na obě strany od těchto mezních kmitočtů se výrazně zmenšuje.

Rozlišovací schopnost ucha je rovněž nelineárně závislá na intenzitě zvuku. Subjektivní vjem změny intenzity určitého tónu je (zjednodušeně) úměrný pouze logaritmu poměru obou mezních intenzit. Rozsah dynamiky má tedy vliv nejen na kvantitativní, ale i kvalitativní parametry subjektivního vjemu, nehledě na požadavky z hlediska kompozice skladby.

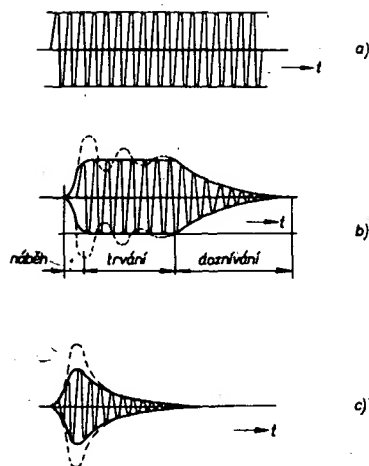
Časový průběh

Mohlo by se zdát, že výška, spektrum a dynamika jsou tři parametry, jednoznačně definující zvuk určitého nástroje. To by však byl mylný dojem, u většiny nástrojů se spektrální složení a dynamika akustického projevu neustále mění, stejně jako (cyklicky)

i opakovací kmitočty. Řada klasických nástrojů také využívá nejrůznějších fines ke zvýšení brilance a líbivosti zvuku nástroje.

Popíšeme-li tedy zvuk nástroje výškou, spektrální skladbou a úrovní hlasitosti, pak se tato definice vztahuje přesně pouze na dokonale periodický signál s jednotkovou amplitudou, tedy se stabilní modulační obálkou. Těmto požadavkům vyhovuje např. jednoduchý sinusový signál podle obr. 2a. Pro každý nástroj je však charakteristický originální průběh náběhu, trvání a doznění hraného tónu. Např. dechovým nástrojům odpovídá obvykle pozvolné nasazení tónu (náběh), většinou s určitými překmity, trvání tónu s přibližně konstantní nebo zvolna se zmenšující amplitudou a konečně opět amplitudový pokles (doznívání). Jednotlivé intervaly časového průběhu jsou na obr. 2b. Poněkud odlišný charakter mají tóny nástrojů strunných nebo bicích. U nich bývá náběh tónu ostrý a tón pak samovolně doznívá. Průběh náběhu i doznívání však může být také ovlivňován (obr. 2c).

Uvedené příklady stačí, abychom si uvědomili vliv časového průběhu na akustický „projev“ nástroje. Pro jednoduchost jsme uvažovali harmonický signál. Většina nástrojů samozřejmě produkuje složitější signály, u nichž se amplituda (modulační obálka) jednotlivých harmonických složek, zvláště při náběhu a doznívání, různě mění. Tím



Obr. 2. Časový průběh modulační obálky; a) kontinuální signál, b) interval dechových nástrojů, c) interval strunných nástrojů

dochází k časovým změnám spektrálního složení komplexního signálu, čímž každý nástroj získává další charakteristický rys. V zahraniční literatuře se s oblibou poukazuje na skutečnost, že předvádí-li se hudebníkovi záznam některých tónů z jemu dobře známého nástroje, upravený tak, aby trvale zněla pouze jejich „ustálená oblast“, nebo jsou-li uměle upraveny tónové náběhy, často nástroj obtížně poznává.

Průběh modulační obálky je tedy dalším důležitým činitelem, ovlivňujícím charakteristické vlastnosti jednotlivých skupin nástrojů. U elektronických nástrojů není zdaleka zanedbatelný a působí při jejich konstrukci poměrně značné obtíže.

Popsali jsme si pro další potřebu a orientaci některé nejzávažnější činitele, charakterizující hudební signály. S řadou dalších se však ještě postupně seznámíme.

Základy hudební teorie

Základními pilíři každé melodie a hudební teorie i praxe jsou jednotlivé tóny. Ty z hlediska konstrukce nástroje představují především kmitočtové normály, které musí být u nástroje přesně nastaveny. Kmitočty, odpovídající jednotlivým tónům, je možno stanovit exaktně, známe-li vnitřní systém příslušného ladění nástroje. Protože se v této oblasti vyskytují některé zakořeněné nepravé představy, věnujeme se systémům ladění hudebních nástrojů poněkud podrobněji.

Kvalitativní vztahy dvou nebo více tónů je možno v zásadě stanovit dvěma rozdílnými způsoby: buď lze stanovit absolutní výšky (kmitočty) zúčastněných tónů, nebo lze vyjít

Tab. 2. Kmitočtové poměry běžných intervalů

Název intervalu	Poměr čistého ladění	Poměr temperovaného ladění
malá tercie	$6:5 = 1,20$	$\sqrt[4]{2} : 1 = 1,19$
velká tercie	$5:4 = 1,25$	$\sqrt[3]{2} : 1 = 1,26$
kvarta	$4:3 = 1,33$	$\sqrt[12]{2} : 1 = 1,33$
kvinta	$3:2 = 1,50$	$\sqrt[12]{2} : 1 = 1,50$
malá sexta	$8:5 = 1,60$	$\sqrt[3]{4} : 1 = 1,59$
velká sexta	$5:3 = 1,67$	$\sqrt[4]{8} : 1 = 1,68$
oktáva	$2:1 = 2,00$	$2:1 = 2,00$

Tab. 3. Srovnávací tabulka pythagorického a čistého ladění

Tón	Intervaly		Kmitočet f [Hz]	Intervaly		Kmitočet f [Hz]
	vůči C	jednotlivé		vůči C	jednotlivé	
c ¹	1		261,63	1		261,63
d ¹	9:8	9:8	294,33	9:8	9:8	294,33
e ¹	81:64	256:243	321,09	5:4	10:9	327,04
f ¹	4:3	9:8	348,83	4:3	9:8	348,83
g ¹	3:2	9:8	392,44	3:2	10:9	392,44
a ¹	27:16	9:8	441,50	5:3	9:8	436,03
h ¹	243:128	256:243	496,68	15:8	16:15	490,56
c ²	2		523,26	2		523,26
pythagorické ladění				čisté ladění		

z přirozeného hudebního citění kompozice těchto tónů, jejich kvalitativní obsah je možno obecně vyjádřit relativními poměry jejich opakovacích kmitočtů, tj. tónovými intervaly. Je např. známo, že souzvuk dvou tónů je lahodný, konsonantní, jsou-li jejich kmitočty v některém z poměrů, uvedených v tab. 2.

Jednotlivé druhy ladění by tedy měly obsahovat především tóny, jejichž vzájemné intervaly by odpovídaly těmto a podobným požadavkům, a to ve všech tóninách. Sledujeme, do jaké míry a jakým způsobem se s těmito problémy vyrovnávají nejznámější druhy ladění z hlediska historického vývoje.

Druhy ladění

Podle historické posloupnosti rozeznáváme v dějinách hudby tři nejdůležitější etapy vývoje ladění hudebních nástrojů.

Pythagorické ladění je vývojově nejstarší, bylo používáno již v I. století před naším letopočtem. Tomuto ladění odpovídá základní diatonická stupnice, výchozím tónem je c. Interval celého tónu je definován poměrem 9:8, půltónový interval je 256:243. Terce v pythagorickém ladění je určena poměrem $9^2:8^2 = 81:64$. Jednotlivé intervaly jsou zřejmé ze srovnávací tabulky ladění (tab. 3).

Čisté (přirozené) ladění pochází ze středověku. V této době se již začaly projevovaly snahy o jednotný ladicí systém, o přesnou definici základního tónu atd. U čistého ladění je především nahrazen kmitočtový interval pythagorické tercie (81:64) poměrem 5:4, nazývaným čistou velkou tercií. Tomu odpovídá zavedení nerovnoměrných tónových intervalů. Interval celých tónů se dělí na dva typy, velké s kmitočtovým poměrem 9:8 a malé s poměrem 10:9. Půltónový krok je definován poměrem 16:15. Čisté ladění nejlépe odpovídá přirozenému hudebnímu citění a je vhodné pro nástroje, u nichž může hudebník během hry plynule ovládat výšku hraného tónu nebo tónů. Jednotlivé intervaly jsou v tab. 3.

Obě dosud uvažovaná ladění mají pro aplikaci v klávesových nástrojích jeden zásadní nedostatek: systém znějících intervalů není jednotný. Pokusíme-li se např. vypočítat kombinaci několika intervalů různými způ-

soby, dostáváme částečně odlišné výsledky. Ukažme si několik příkladů: dělíme-li pythagorickou tercií velkou čistou tercií (složenou z velkého a malého tónového intervalu), tj.

$$\frac{81}{64} : \frac{5}{4} = \frac{81}{80},$$

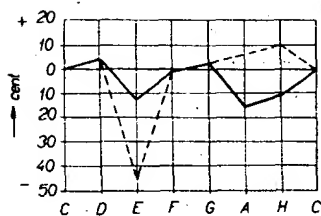
dostáváme malý kmitočtový rozdíl, poměr je různý od jedné. Interval tercie jsou u obou ladění odlišné, podobně se liší např. sexty; nebo vyjdeme-li od C₁, získáme po sedmi oktavových intervalech tón c². Stejný tón bychom měli dostat také kaskádou dvanácti kvintových intervalů (v pythagorickém i čistém ladění jim odpovídá poměr 3:2; oktavový poměr je 2:1). Srovnáním obou způsobů $[(3/2)^{12} : 2^7 = 1,0137]$ zjišťujeme znovu odchylku od jednotkového poměru, absolutní chyba narůstá s počtem oktav. U nástrojů s pevným laděním by tyto odchylky a nerovnoměrnost intervalové stavby umožňovaly ladit systém pouze v jediné stupnici, což nevyhovuje. Klávesové nástroje si tak přímo vynutily další druh ladění, temperované.

Temperované ladění je charakteristické svou rovnoměrností. Rozsah oktávy je rozdělen na dvanáct identických poměrných intervalů, tzv. temperovaných půltónů. Jejich poměrná výška je určena výrazem $\sqrt[12]{2}$. Tónový interval je určen součinem dvou půltónových a tedy roven $\sqrt[6]{2}$. Stejně určíme jakýkoli jiný interval: Základy temperovaného ladění položil již v r. 1544 matematik Michael Stifel a v průběhu let byl systém doveden do dnešní podoby.

Vynikající předností temperovaného ladění je možnost sestavit univerzální chromatickou stupnici, využívající všech dvanácti intervalů oktávy, tvořících všechny vhodný výběrem jednotlivých tónů stupnice je pak možno sestavovat libovolné požadované stupnice nebo akordy v libovolných tóninách, protože jednotlivé intervaly neodpovídají sice zcela přesně ideálnímu hudebnímu citění, ale vyznačují se nepatrnými odchylkami (ke srovnání lze použít tab. 2). Tyto disonantní odchylky jsou však velmi nepatrné a prakticky nepostřehnutelné, jsou jedinou daní, kterou platíme za náhradu velkých a malých intervalů čistého ladění průměrným, jednotkovým mocninovým intervalem. Výhoda snadného vytváření libovolných intervalů prakticky stejného stupně čistoty ve všech

Tab. 4. Vzájemné poměry jednotlivých intervalů oktávy temperovaného ladění

Tón	C	Cis	D	Dis	E	F	Fis	G	Gis	A	B	H	C
Interval k C	1	$\sqrt[12]{2}$	$\sqrt[12]{2^2}$	$\sqrt[12]{2^3}$	$\sqrt[12]{2^4}$	$\sqrt[12]{2^5}$	$\sqrt[12]{2^6}$	$\sqrt[12]{2^7}$	$\sqrt[12]{2^8}$	$\sqrt[12]{2^9}$	$\sqrt[12]{2^{10}}$	$\sqrt[12]{2^{11}}$	2



Obr. 3. Odchylky základních tónů pythagorického a čistého ladění od temperovaného v oktávovém intervalu (čistě ladění – plná čára, pythagorické – přerušovaná čára)

tóninách tuto malou „kosmetickou“ vadu zcela zastíňuje. Vzájemné poměry jednotlivých intervalů oktávy temperovaného ladění jsou v tab. 4. V temperovaném ladění, které dále budeme výlučně používat, je tedy poměr opakovacích kmitočtů dvou sousedních půltónů konstantní a je definován jako $f_H = f_D \cdot \sqrt[12]{2} = f_D \cdot 1,059 463 094$. Jako základní (normálový) tón temperovaného ladění se užívá tón a^1 , který je definován jako signál opakovacího kmitočtu 440,00 Hz.

Vzájemné odchylky tónů diatonické stupnice, která se používá u všech tří uvažovaných způsobů ladění, jsou v rozsahu jedné oktávy znázorněny na obr. 3.

Oktáva, ustálené uspořádání klaviatury

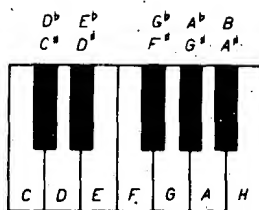
Již dříve jsme si naznačili, že oktávou rozumíme buď oktávový poměr dvou tónů, nebo si pod tímto pojmem představujeme soubor tónů v uvedeném intervalu. Každá oktáva v temperovaném ladění obsahuje dvanáct tónů (přesněji půltónů), mezi nimiž je vždy stabilní půltónový interval. Historickým vývojem se doslo k ustálenému uspořádání ovládacího manuálu (klaviatury) klávesových nástrojů, které je možno vzhledem k tradici považovat za konečné (obr. 4, jedna oktáva na manuálu se opakuje tolikrát, kolik má nástroj oktáv).

Bílé klávesy tvoří základní diatonickou stupnici, která začíná tónem C. Jednotlivé tóny této stupnice jsou C-D-E-F-G-A-H-C. Z hudebního nebo fyzikálního hlediska je pro nás zajímavé především to, že mezi jednotlivými tóny této stupnice, které je tvořena bílými klávesami, je uvnitř oktávy vzájemný kmitočtový poměr $f_H = f_D \cdot \sqrt[12]{2}$, tzv. tónový krok, protože je mezi nimi vřazena vždy jedna klávesa černá, jeden půltón. Výjimku tvoří interval E-F, kde dvě bílé klávesy sousedí přímo, což také odpovídá půltónovému intervalu těchto tónů; stejně je navázán tón (klávesa) H na C vyšší oktávy, nebo tón C na H nižší oktávy.

Označíme-li si postupně jednotlivé tóny základní diatonické řady latinskými číslicemi, dostáváme známé hudební vyjádření pro vytvoření intervalů – východiskem zde může být kterýkoli tón. Tak např. pro uspořádání oktávy podle obr. 4, kde je výchozím tónem C, platí tab. 5. (Pro orientaci je tabulka rozšířena o část vyšší oktávy, tyto intervaly se užívají v harmonii nebo při složitější akordové stavbě.) S kmitočtovými poměry jednotlivých intervalů jsme se již seznámili. Uvedené intervaly základní diatonické řady se nazývají

Tab. 5.

Interval	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Tón	C	D	E	F	G	A	H	C	D	E
Název	prima	sekunda	tercie	kvarťa	kvinta	sexta	septima	oktáva	nona	decima
	oktáva						část další oktávy			



Obr. 4. Uspořádání oktávy klávesového manuálu

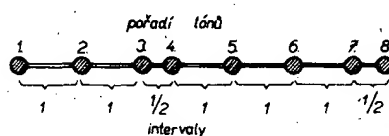
ji základními – pojmenování intervalů je vždy vztaženo k srovnávacímu, základnímu tónu. Tak např. E je tercií k C (C-D-E), G kvintou k C, ale také tercií k E apod. Tato definice není zcela přesná; např. interval tercie v diatonické řadě určuje vlastně odstup dvou mezních tónů, dvou tónových intervalů. Interval v diatonické řadě může však být tvořen jak tónovým, tak půltónovým krokem. Pro přesnější určení je tedy k názvu intervalu třeba připojit další označení, např. čistý, velký, malý atd., které určí skutečný stupeň intervalu. Tak např. dříve uvedený interval C-E je velká tercie (dva celé tónové intervaly), E-G malá tercie (1 1/2 tónového intervalu), C-G kvinta (čistý interval-3 1/2 tónu). Cis je malá sekunda k C (půltónový interval), D velká sekunda k C (jeden tónový interval) atd. Pro úpravu intervalů diatonické stupnice na tyto a řadu dalších intervalů (zmenšené, zvětšené...) je již často třeba používat stupnici chromatickou, která vznikne doplněním diatonické řady chybějícími půltónovými intervaly temperovaného ladění. Tyto intervaly představují na klaviatuře černé klávesy. S jejich pomocí se také přechází do jiných hudebních poloh, ale vždy tak, že základní intervalové schéma a tím i stupeň čistoty transponovaných intervalů zůstávají (až na malé disonantní odchylky temperovaného ladění) stále stejné.

Stupnice, akordy

I když stupnice (uspořádání tónů) samy o sobě nemají pro hudební praxi větší význam, poslouží nám jistě pro lepší počáteční orientaci v systému klaviatury. Neznámější z nich jsou dur a moll, rozhodující pro jejich rozlišení je kvalita třetího stupně. Durových stupnic např. existuje prakticky dvanáct, v podstatě se však jedná o transpozice základního durového schématu na obr. 5. Charakteristické pro durovou stupnici jsou půltónové intervaly mezi 3. až 4. a 7. až 8. tónem. S užitím intervalového počtu můžeme podle základního schématu lehce stanovit kteroukoli durovou stupnici, příklad viz tab. 6. Naopak pro mollovou stupnici je typická malá tercie na třetím stupni.

Významnější než u stupnic jsou intervaly při tvorně akordů, tedy souzvuku několika tónů; každý akord má svoji přesně definovanou intervalovou sestavu. Např. základní durový akord, hraný v kvintovém rozpětí, má sestavu prima – velká tercie – malá tercie (intervaly se určují mezi jednotlivými vzestupnými tóny). Intervalová skladba umožňuje znovu určit sestavu tohoto akordu v libovolné poloze, např.

C dur = C-E-G.
D dur = D-Fis-A.



Obr. 5. Základní durové schéma

Tab. 6.

C dur	C	D	E	F	G	A	H	C
D dur	D	E	Fis	G	A	H	Cis	D
E dur	E	Fis	Gis	A	H	Cis	Dis	E

Nebo sestava mollového akordu je prima – malá tercie – velká tercie. Znovu můžeme určit příklad sestavy

C moll = C-Es-G.
C moll = D mi = D-F-A.

Částečně si intervalových počtů a akordové sestavy ještě povšimneme při rozboru koncepce amatérského elektronického nástroje. Toto malé odbočení do hudební teorie bylo určeno pro ty čtenáře, kteří v hudební oblasti nemají žádnou přípravu. Kromě snahy o zachování souvislosti jednotlivých částí předchozího textu jsem zde chtěl především ukázat, že v hudbě platí stejně jako v technice přesné zákonitosti, které je možno studovat i samostatně, že pro rekreační provozování hudby je možno zajímavým způsobem kombinovat hrani zpaměti, učení not, intervalové stavby a harmonie, což je jistě mnohem zábavnější, než úmorné dření jednotlivých skladeb. Sám jsem si tuto cestu na sobě vyzkoušel (nebo lépe zkouším) a mohu říci, že je to velmi příjemný způsob odreagování a vyplnění volného času. Stejným laikům, jako jsem já, bych doporučoval knížku Milana Šolce Tajemství akordových značek: stručný a systematický výklad v mnohém připomíná technickou literaturu, na jakou jsme zvyklí.

Stabilita ladění

Víme již, že mezi jednotlivými druhy ladění se opakovací kmitočty, příslušné tónům shodného hudebního označení, poněkud liší a víme také proč. Průběh těchto odchylek jsme si znázornili na obr. 3, kde užitá srovnávací jednotka je označena jako cent. Nabízí se jistě několik otázek: co to vůbec cent je? Jaká odchylka vladení jednotlivých tónů je vlastně přípustná?

Při konstrukci elektronických nástrojů se jedná v tomto případě o základní problém, protože nedostatečně stabilní generátory prakticky znehodnocují i jinak kvalitní nástroje a působí uživateli velké potíže.

Často slyšíme, že člověk je schopen rozeznat kmitočtovou odchylku od správného ladění v rozsahu určitého počtu Hz. To může být v některém případě pravda, ale takováto definice nevychází ze správného přístupu k problému. Hudební nástroje s rozsahem několika oktáv produkují široký obor tónových signálů, proto např. odchylka 1 Hz u tónu C_2 v subkontraoktávě bude jistě zcela nepřijatelná, zatímco u tónu c^5 v pěticárkované oktávě ji v žádném případě nemůže postřehnout největší odborník. Vidíme, že kmitočtová odchylka musí být nutně vztažena ke zkoumanému tónu (kmitočtu).

Existuje však jiný, univerzální způsob pro hodnocení míry tónové odchylky. Víme, že u temperovaného ladění je poměrný půltónový krok konstantní a roven $\sqrt[12]{2} : 1$, tj. 1,059 463 094. Tato konstanta umožňuje odvodit poměrnou jednotku, kterou lze stanovit tónovou odchylku nezávisle na opakovacím kmitočtu. Jednotka, nazývaná v německé literatuře cent, je definována jako 1/100 půltónového poměrného intervalu. Charakter takto definované odchylky je neli-

neární, protože vychází z rovnoměrného dělení jednotlivých úseků funkce mocninného charakteru. Pro jeden cent si můžeme snadno odvodit součinitel α , významově odpovídající odchylce jednoho centu, z rovnice

$$\alpha = \frac{1}{100} (1^2 \sqrt{2} - 1) = 5,946 \cdot 10^{-4}$$

Kmitočet lišící se od určitého tónu s opakovacím kmitočtem f_A o X centů si pak můžeme stanovit jako

$$f_B = f_A (1 + 5,946 \cdot 10^{-4} X),$$

zpětně můžeme stanovit odchylku v centech mezi zkoumaným a normálovým tónem

$$X \approx 1682 \left(\frac{f_B}{f_A} - 1 \right) \quad [\text{centy; Hz}].$$

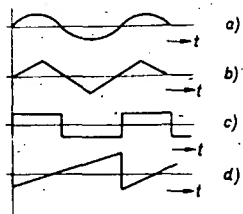
Odchylce 100 centů odpovídá sousední půltón – oblast praktického využití se však omezuje na odchylky řádu jednotek až desítek centů.

Dlouhodobými testy specialistů, hudebníků a ladičů hudebních nástrojů bylo ověřeno, že školený specialista bezpečně rozlišuje odchylky ladění v oblasti ± 5 až 10 centů. Tato rozlišovací schopnost je v odborných kruzích všeobecně považována za přijatelné kritérium stability hudebního nástroje. Můžeme si snadno odvodit, že stabilitě ± 5 centů odpovídá poměrná kmitočtová odchylka $f_A/f_B = 1,006$, tj. od generátorů elektronického nástroje musíme požadovat, aby jejich stabilita byla za všech v úvahu přicházejících okolností lepší, než 0,6 %. Při uvážení vlivu teplotních a klimatických činitelů, požadavku reprodukovatelnosti a dlouhodobého charakteru, požadované stability si snadno uvědomíme, že dosáhnout tohoto cíle jednoduchými prostředky je poměrně obtížné.

Elektronická syntéza barvy zvuku

Rozbor spektra základních periodických signálů

Akustické vlastnosti každého nástroje jsou závislé především na spektrálním složení jím produkovaného tónu, tvořeného složitými signály periodických nebo cyklických průběhů; bezprostřední generování těchto signálů je vzhledem k technickým problémům prakticky nemožné. Pro napodobování zvuku klasických nástrojů, stejně jako pro vytváření nových, nekonvenčních, se v elektronických nástrojích využívá nejčastěji syntézy základních periodických průběhů. Mezi ně patří (podle spektrálních vlastností a jednoduchosti tvorby) především sinusový, trojúhelníkový, pravouhlý a pilovitý průběh. Tyto průběhy jsou na obr. 6. Každý z nich má specifický akustický charakter, vzájemně se



Obr. 6. Základní periodické signály; a) sinusový průběh (neobsahuje žádné harmonické složky), b) trojúhelníkový průběh (obsahuje liché harmonické), c) pravouhlý průběh (obsahuje harmonických závislých střídě signálů), d) pilovitý průběh (obsahuje liché a sudé harmonické)

liší různým obsahem různých harmonických složek.

Signál sinusového průběhu můžeme z tohoto hlediska považovat za výchozí. Je nejednodušší, neobsahuje žádné vyšší harmonické složky. Symbolicky jej můžeme zapsat jako $y = f(\sin x)$. Veškerá energie je soustředěna na základní (první) harmonické.

Signál trojúhelníkovitého průběhu je jiný, skládá se z algebraické kompozice většího počtu sinusových průběhů různého energetického obsahu, jak vyplývá ze symbolického zápisu Fourierova rozvoje pro tento tvar časové funkce

$$y = f \left[\frac{4}{\pi} \left(\sin x - \frac{\sin 3x}{3^2} + \frac{\sin 5x}{5^2} - \dots \right) \right]$$

Vidíme, že hlavní energetický podíl je soustředěn znovu na základním kmitočtu, ostatní složky jsou obsaženy výlučně v lichých harmonických. S rostoucím řádem harmonické klesá obsah těchto složek, např. třetí harmonická obsahuje 1,1 %, pátá harmonická 4 %, sedmá harmonická 2 % a devátá pouze 1 % (ve srovnání se základní harmonickou složkou). Smísíme-li tyto jednotlivé sinusové signály v uvedeném amplitudovém, kmitočtovém a fázovém poměru, získáme původní signál trojúhelníkovitého průběhu – tomuto postupu říkáme harmonická syntéza.

Signál pravouhlého průběhu je jedním ze signálů, které mohou obsahovat jak sudé, tak i liché harmonické. Důležitá pro spektrální obsah tohoto signálu je jeho střída. Zvláštním případem, v elektronických nástrojích užívaným nejčastěji, je signál se střídou 1 : 1. Tento signál je možno zapsat jako

$$y = f \left[\frac{4}{\pi} \left(\sin x + \frac{\sin 3x}{3} + \frac{\sin 5x}{5} + \dots \right) \right]$$

což znamená, že znovu obsahuje pouze liché harmonické.

Konečně signál pilovitého průběhu obsahuje jak liché, tak sudé harmonické složky

$$y = f \left(\sin x - \frac{\sin 2x}{2} + \frac{\sin 3x}{3} - \dots \right).$$

Zvláštním druhem signálu se širokým kmitočtovým spektrem nejrůznějších amplitudových a fázových vztahů, který se používá v některých zařízeních, je bílý šum. Také s jeho využitím se později seznámíme.

Způsoby využití základních signálů

Podle toho, jaké signály a jakým způsobem se podílejí na tvorbě výsledného komplexního signálu, rozlišujeme systémy s

a) harmonickou syntézou,

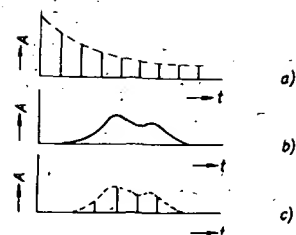
b) selektivním výběrem,

c) registrovou syntézou.

V praxi se ovšem základní systémy nejrůzněji upravují nebo kombinují.

Upravit harmonickou syntézu jsme si osvětlili na harmonické syntéze signálu trojúhelníkovitého průběhu. Harmonická syntéza předpokládá, že je k dispozici potřebné množství vhodných harmonických složek, aby jejich kompozice ve vhodném poměru mohla s dostatečnou přesností napodobit požadovaný průběh. V této souvislosti je zajímavé, že nemusí být dodrženy fázové vztahy harmonických kmitočtů, jak vycházejí z rozvoje. Lidské ucho je totiž na fázové poměry jednotlivých složek výrazně necitlivé. Harmonické syntéze se často využívalo u elektromechanických systémů s rotačními disky (s fotoelektrickým nebo elektromagnetickým snímáním), u nichž bylo možno snadno získávat jednotlivé harmonické průběhy v libovolném poměru (určeném předlohou), snímání z jednotlivých stop každého disku.

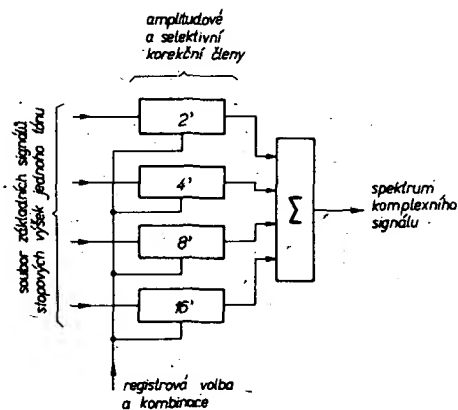
Metoda selektivního výběru užívá jako základních signálů signály s bohatým spektrem, s pokud možno rovnoměrně rozloženým energetickým obsahem jednotlivých složek. Z dříve uvedených základních signálů



Obr. 7. Princip selektivního výběru; a) spektrální složení základního signálu, b) přenosová charakteristika filtru, c) korigované spektrum výstupního signálu

je nevhodnější signál s průběhem pilovitým. Spektrální obsah takového signálu je na obr. 7a. Filtrem s vhodnou amplitudovou charakteristikou (obr. 7b) je možno vnutit průchodnému signálu odpovídající spektrální složení (obr. 7c) včetně respektování formantových oblastí napodovaných nástrojů. Potom ovšem musí mít filtry složitější průběh přenosové charakteristiky.

Nedostatkem harmonické syntézy je především její složitost a tím i ekonomická nevýhodnost. Nedostatkem selektivního výběru je omezený rozsah zvukových zabarvení, mají-li vstupní signály některé z uvedených periodických průběhů. S tím např. souvisí i obtížné vyrovnávání hlasitosti a barvy zvuku v rozsahu celého nástroje. Registrová syntéza v kombinaci se selektivním výběrem jednotlivých vstupních signálů je kombinací, využívající předností obou předchozích metod. Princip je znázorněn na obr. 8. Jako



Obr. 8. Princip registrové syntézy

vstupní signály se nejčastěji používají signály pravouhlého průběhu se střídou 1 : 1 nebo jejich odvozeniny, tvořené průchodem signálů kmitočtově závislými nebo nelineárními přenosovými články. Tak je ovlivňován spektrální obsah jednotlivých vstupních signálů. Pro každý tón musí být v registrové syntéze k dispozici těchto signálů několik. Základní je tvořen průběhem s opakovacím kmitočtem požadovaného tónu. Další složky jsou tvořeny vhodně upravenými průběhy, jejichž opakovací kmitočty jsou vždy o oktávu vyšší. Tímto způsobem jsou do signálu zaváděny složky, obsahující potřebné sudé harmonické. Jejich působením získává výsledný signál bohatý spektrální obsah. Analogii harmonické syntézy je možnost ovlivňovat energetické poměry jednotlivých vstupních signálů ve výsledném, komplexním signálu. Popsaný princip registrové syntézy je pouze teoretický, praktická řešení využívají k ovlivňování zvukového zabarvení jak oktávních násobků, tak zlomků základního kmitočtu. Důvodem je snaha omezit počet potřebných vstupních registrových signálů, omezit výrobní náklady a rozšířit počet výrazných zvukových zabarvení. U polyfonních nástrojů bývají

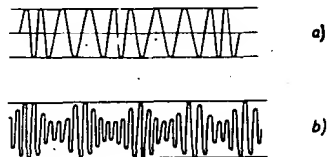
také často užívány vstupní registrové signály, jejichž vztah k základnímu signálu není periodický (oktávový), ale cyklický. Jako doplňkové signály se užívají některé z těch, které tvoří se základním signálem souzvuk, např. kvinta nebo tercie. Tyto složky dávají výslednému signálu zvláštní „atmosféru“, zvukovou malebnost.

Dosud jsme v této kapitole uvažovali, s výjimkou užití tercie nebo kvinty, aplikaci přesně periodických signálů. Když jsme pojednávali o akustických vlastnostech klasických nástrojů, všimli jsme si, že výrazný podíl na jejich zvukové živosti a malebnosti mají neustálé dynamické změny výšky tónu, zabarvení, dynamiky a časového průběhu těchto parametrů. Podobným způsobem jsou vytvářeny různé efekty také u elektronických nástrojů, s nimiž se postupně seznámíme. V následujícím odstavci si všimneme pouze dvou typů základních efektů, využívajících cyklických změn některých z parametrů komplexního akustického signálu.

Vibrato, tremolo

K realizaci obou efektů je třeba použít další periodický signál (tentokrát však bez jakéhokoli poměru k jednotlivým tónům), kterým ovlivňujeme některé parametry akustického signálu. Jedná se tedy vždy o signál modulačního charakteru. Podle toho, jaký druh modulační je použit, rozlišujeme oba uvedené efekty.

Princípem *vibrata* je kmitočtová modulační. Jako modulační signál se používá nejčastěji symetrický sinusový signál s infrazvukovým opakovacím kmitočtem asi 5 až 9 Hz. Kvalita efektu bývá ovlivňována jak úpravou modulačního kmitočtu, tak úrovní poměrného kmitočtového zdvihu. U běžných aplikací musí být kmitočtový zdvih symetrický a obvykle menší než půltónový interval, aby nedocházelo k falešně znějícímu rozlaďování generátorů. Důležité je také stejné poměrné rozlaďování všech základních generátorů ve všech polohách. Příklad kmitočtové modulační je na obr. 9a.



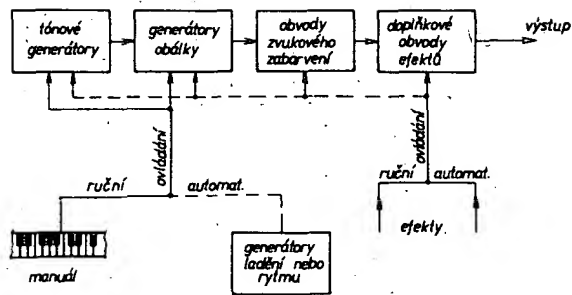
Obr. 9. Znáznornění principu vibrata (a) a tremola (b)

Pojmem *tremolo* označujeme efekt, který je vytvářen amplitudovou modulací komplexního signálu. Opět se používá infrazvukový modulační signál, tentokrát v oblasti asi 7 až 12 Hz. Charakter efektu je možno ovlivňovat úpravou modulačního kmitočtu a hloubky modulační. Tremolo nesmíme zaměňovat s efektem, který využívá postranních složek amplitudově modulovaného signálu (aplikace kruhových modulátorů). Princíp amplitudové modulační je na obr. 9b.

Oba efekty bývají často kombinovány. Existuje řada dalších velmi podobných efek-



Obr. 10. Symbolické blokové schéma elektronického hudebního nástroje



tů, ať již z hlediska technického nebo hudebního, např. fázové vibrato, dílčí (stopové) tremolo atd. Jedná se většinou o speciální aplikace, které je třeba vždy přesně specifikovat. Pod pojmem tremolo a vibrato budeme proto vždy rozumět pouze dva právě popsané efekty.

Elektronické hudební nástroje

Ohlédnutí do historie

Ne každému objevu nebo vynálezu bývá souzena tak dlouhá a složitá cesta k aplikaci a společenskému uznání, jako tomu bylo v případě praktického využití elektrického vytváření tónů. Většina pramenů se shoduje v tom, že základní principy byly položeny již v r. 1838 Švýcarem Dellezenem, který tehdy publikoval generování tónu s použitím rotujícího tvarovaného ocelového kola a elektromagnetu. Snad nás, kteří jsme v době vědeckotechnické revoluce podvědomě připraveni nedat se zaskočit snad ničím, přinutí alespoň smeknout klobouk, uvědomíme-li si, že při spisování svého díla si pravděpodobně musel sávit voskoviči, protože to bylo 40 let před tím, než Edison rozsvítil první žárovku. V té době tedy elektronika neexistovala v žádné formě! Na uvedeném principu postavil v r. 1895 Angličan Cashill nástroj o váze mnoha tun, který byl skutečně užíván pro hudební produkce – ovšem prostřednictvím telefonní sítě, protože vhodnější elektroakustické měniče než sluchátko tehdy ještě neexistovaly.

První výrazná vlna, která naznačila možnosti čistě elektronických nástrojů, byla v dvacátých letech našeho století. V řadě zemí (SSSR, Anglii, Francii, Německu, USA...) byly vyvinuty jednohlasé nástroje, zpočátku ještě bez kláves – tóny bývaly často vyluzovány „magickými“ pohyby ruky kolem záhadného nástroje. Postupně byly nástroje opatřovány klávesami, byly systematicky studovány metody generování tónů, vytváření zvukového zabarvení a další problematika. Po přestávce, vynucené druhou světovou válkou, byl další vývoj mohutně povzbuzen objevy v polovodičové sféře a zvláště průmyslovou realizací tranzistoru. Odtud se také datuje období komercializace elektronických nástrojů. Konečně v našem desetiletí se s objevy nových systémů a aplikací, důsledně využívajících možností nových technologií, dostávají úspěchy největší. Elektronická hudba dochází uznání v uměleckých kruzích a masově se šíří a postupně proniká do oblasti populární hudby a konečně i do domácností. Sám se domnívám, že tak jako dříve skoro v žádné domácnosti nechyběly housle nebo klarinet, tak v blízké budoucnosti nebude chybět nějaké to elektronické pipátko.

Druhy elektronických nástrojů

Abychom se mohli orientovat v jednotlivých problémech, musíme nějak rozlišit užívané systémy elektronického vytváření

a zpracování hudebních signálů. To je však poměrně obtížné. Na obr. 10 jsem se pokusil znázornit všeobecné schéma systému, generujícího hudební signál. Toto schéma (s určitými výhradami) zachycuje charakteristické obvody, vyskytující se v různých formách u všech elektronických nástrojů. Přitom zásadní změna kteréhokoli z nich může vyvolat zcela jiné systémové řešení a dokonce i jinou aplikaci celého nástroje! Jako cestu k diferenciaci nástrojů zvolíme cestu postupných obměn jednotlivých funkčních bloků.

1. Tónové generátory

Jsou to v zásadě elektronické obvody, definující výšku jednotlivých požadovaných tónů. Podle způsobu využití lze generátory dělit na typy:

- a) se spojitou činností (tj. stále kmitající generátory),
- b) s nespojitou činností (každý generátor je uváděn do činnosti ovládacím zařízením, např. klávesou).

Realizace generátorů je důvodem dalšího dělení nástrojů na systémy s generátory typu:

- a) analogového,
- b) digitálního,
- c) konverzního.

Zvláštností co do řešení a použití jsou generátory šumové.

2. Ovládací zařízení

Ovládací zařízení slouží obecně jako periferie, pomocí níž je nástroj ovládán. Nejpopulárnější je klávesový manuál. Podle jeho realizace se dále rozlišují klávesové nástroje:

- a) s konstantní dynamikou, kterých je drtivá většina,
- b) s regulovatelnou dynamikou. V těchto případech nebývá klávesa vybavena pouze jednoduchým spínačem, ale prvkem reagujícím na polohu, sílu nebo zrychlení stisku klávesy.

Z vnitřního vzájemného vztahu generátorů a manuálu nástroje vyplývá nejrozšířenější systémové dělení, určované počtem kláves, které mohou současně znít:

- a) nástroje jednohlasé,
- b) nástroje vícehlasé,
- c) nástroje polyfonní.

Ovládacím zařízením ovšem nemusí být pouze klávesový manuál. Např. jeho nahrazením poloautomatickým nebo automatickým zařízením, umožňujícím postupný výběr jednoho nebo skupiny tónů, se vyznačují nástroje, jako jsou:

- a) generátory rytmů,
- b) syntetizéry.

Ruční i automatické ovládání se mohou kombinovat.

3. Generátory obálky

Podle realizace časového průběhu generovaného signálu dělíme nástroje na nástroje:

- a) s konstantním průběhem obálky,

- b) s nastavitelným tvarem obálky,
c) s variabilními efekty.

4. Obvody zvukového zabarvení

S těmito systémy jsme se již seznámili. Můžeme rozlišovat nástroje s

- a) harmonickou syntézou,
b) selektivním výběrem,
c) rejstříkovou syntézou,
d) speciální – patří mezi ně např. aplikace napětově řízených obvodů (zesilovačů, filtrů, atd.).

V praxi bývají obvykle některé systémy kombinovány.

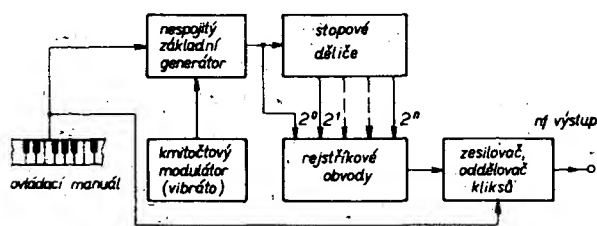
Již z tohoto jistě nevyčerpávajícího srovnání je zřejmé, že existuje mnoho nejrůznějších činitelů, které mohou ovlivňovat náš přístup k hodnocení nebo konstrukci nástrojů. A to jsme si záměrně nevšimli žádných efektů nebo doplňků, které jsou rovněž velmi náročné z hlediska řešení – viz např. ozvěnu, dozvuk, chorus nebo efekt Leslie atd.

Abychom se mohli dotknout také těchto problémů, je již třeba znát základy činnosti běžných nástrojů. Proto se nyní podrobněji zaměříme na možnosti řešení a rozbor činnosti nejjednoduššího z dosud uvedených nástrojů, nástroje jednohlasého.

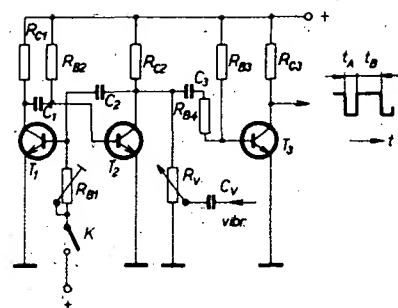
Jednohlasé elektronické nástroje

Čemu se vlastně říká jednohlasý nástroj? Jak se na něj hraje? Je to takový nástroj, jehož vnitřní systém umožňuje produkovat v reálném čase pouze jediný tón. Je-li opatřen manuálem, pak na tento nástroj můžeme hrát tak, že vždy stiskneme pouze jedinou klávesu; na první pohled vidíme ve srovnání např. s klavírem drastické omezení techniky hry. Přesto se tyto nástroje dosud vyrábějí továrně – nejzávažnějším důvodem jsou nízké výrobní náklady. Jsou často užívány dětmi, které jejich prostřednictvím seznámují s hudbou a citěním. Jsou-li jednohlasé nástroje křivě řešeny, znějí dobře ve spolupráci s jinými nástroji. Z tohoto důvodu a také jako vhodný úvod do problematiky elektronické hudby jsou častým předmětem amatérské realizace.

Přes svoji jednoduchost mohou být tyto nástroje řešeny různě. Proberme si nejprve jejich tradiční, ustálené uspořádání. Blokové schéma je na obr. 11.



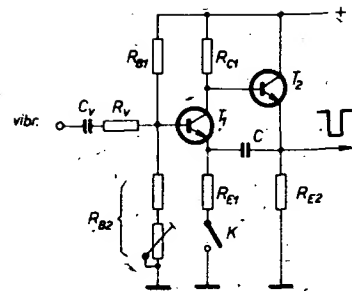
Elektrickou analogii akustického zdroje tónu určité výšky je generátor signálu opakovacího kmitočtu, tvořící základ nástroje. Zpravidla se používá pouze jeden, i když to není podmínkou. Typickým znakem generátoru jednohlasého nástroje je jeho nespojitá činnost. Znamená to, že v klidovém stavu nepracuje nebo kmitá v nadzvukové oblasti, do činnosti se uvádí až stiskem klávesy. Požadavky na ostatní vlastnosti generátoru jsou velmi mírné. Není zde nijak zvlášť kritická otázka kmitočtové stability, protože nástroj nemůže hrát více tónů a je dále obvykle opatřen prvkem, umožňujícím doladit manuál v potřebném rozsahu. V širších



Obr. 12. Jednoduché zapojení základního generátoru (změnou R_{B1} lze měnit kmitočet)

souvislostech není důležitý ani tvar výstupního signálu generátoru, proto může být na tomto místě použit prakticky libovolný vhodný elektronický obvod. Nejčastěji se jako základní generátor používá některé ze známých zapojení astabilního multivibrátoru, typický příklad je na obr. 12. Tranzistor T_1 slouží jako impedanční oddělovací stupeň. Výstupní signál tohoto multivibrátoru má pravouhlý průběh, jehož střída je proměnná v závislosti na opakovacím kmitočtu generovaného tónu. Toto zapojení je zcela nevhodné pro nástroje, od nichž požadujeme lepší kmitočtovou stabilitu, především pro nástroje, které znemožňují teplotní kompenzaci parametrů tranzistorů a jiných obvodových prvků (zvláště kondenzátorů) vzhledem k proměnnému poměru t_A/t_B (obr. 12). Jedna perioda časového průběhu výstupního signálu generátoru je určena součtem časových intervalů $t_A + t_B$; t_A je stabilní, pevný časový úsek, určený časovou konstantou $R_{B2}C_1$, interval t_B je proměnný v závislosti na časové konstantě $R_{B1}C_2$ a tedy na právě zapojeném odporu R_{B1} , vybraném klávesou. Uvažujeme-li vliv teploty na parametry tranzistorů, je zřejmé, že poměrná kmitočtová odchylka bude při větším kmitočtovém intervalu (několik oktáv) u jednotlivých tónů různá. Z hlediska dlouhodobé stability je také nevhodný příliš velký počet prvků, podléhajících se na definici opakovacího kmitočtu, protože u tohoto zapojení „vše souvisí se vším“.

Zajímavější jsou různé modifikace nesymetrických multivibrátorů, umožňující omezit počet nebo vliv kritických součástí. Jedno



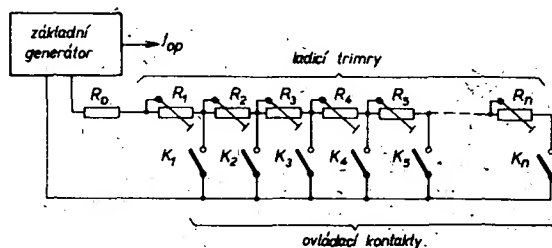
Obr. 13. Základní generátor s nesymetrickým multivibrátorem

sledovač T_2 . Při sepnutí kontaktu se kondenzátor C nabíjí s počáteční časovou konstantou $\tau_{K1} = R_{E1}C_1$, odpovídající napětová změna na odporu R_{E1} současně působí na okamžité napětí báze-emitor T_1 . S uvedenou časovou konstantou se otevírá T_1 , zavírá T_2 . Integrační kondenzátor se potom vybíjí s časovou konstantou $\tau_{K2} = (R_{E1} + R_{E2})C$, určující spolu s napětím na bázi T_1 dobu druhého kyvu multivibrátoru. Kombinace stejnosměrné a kapacitní vazby tak umožňuje definovat oba přechodové děje s použitím jediného kondenzátoru C . Napětí na emitoru T_1 má pilovitý tvar, na emitoru T_2 pravouhlý tvar se střídou různou od 1:1. V obvodu se do jisté míry vzájemně redukuje vliv teplotní závislosti napětí U_{BE} obou tranzistorů na pracovní kmitočet, proto je možno zavádět dodatečnou teplotní kompenzaci a tak dosahovat za běžných pracovních podmínek teplotní stability lepší než 1 %. Generator lze s jiným nástrojem sladit změnou dělicího poměru $R_{B1} : R_{B2}$ (obr. 13), ovšem pouze v úzkých mezích.

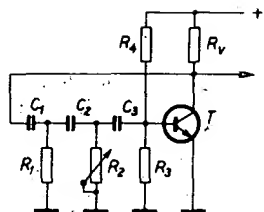
Důležitým požadavkem, kladeným na základní generátor, je jeho uzpůsobení pro kmitočtovou modulaci tak, aby vhodným modulačním napětím, zaváděným do určitého bodu, bylo možno dosáhnout efektu vibrata. Je nutné, aby byl modulační zdvih výsledného signálu symetrický a poměr $\Delta f/f_0$ stabilní v celém rozsahu nástroje.

Všimněte si ještě způsobu ovládání opakovacího kmitočtu základního generátoru. Při použití klávesnice se jednotlivé ovládací kontakty zapojují tak, aby při současném stisku dvou nebo více kláves zněl pouze tón, příslušný jediné klávese, zpravidla odpovídající nejvyššímu tónu stisknuté klávesy. Tímto blokováním se zabráňuje generování falešného tónu, který by jinak vznikl např. při paralelní kombinaci ladících odporů. Příklad nejčastějšího uspořádání se sériovým řazením ladících odporů je na obr. 14.

Realizace modulačního signálu pro vibrato přináší potíže, spojené s generováním signálu infrazvukového kmitočtu sinusového průběhu. Nejčastěji užívané řešení, používající ve smyčce zpětné vazby kaskádu fázovacích článků RC pro fázovou inverzi o 180° , je na obr. 15. Typickým znakem zapojení je použití elektrolytických kondenzátorů (vzhledem k poměrně velkým potřebným kapacitám). V určitém rozsahu je generátor možno doladovat, např. proměnným odporem R_2 . Pro velký útlum fázovacího čtyřpólu musí mít aktivní prvek (tranzistor) vždy poměrně velkou strmost – vhodné jsou např.

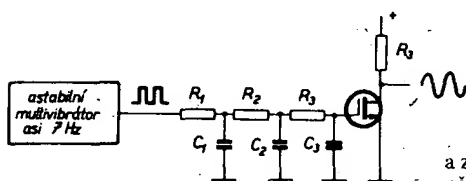


Obr. 14. Nejčastější úprava ladění a výběru jednotlivých tónů s blokováním falešných kombinací (rozladění libovolného trimru, např. R_2 , má vliv na rozladění následující navažující smyčky K_3 až K_n)



Obr. 15. Klasické schéma infrazvukového generátoru, vytvářejícího modulační signál pro vibrato

tranzistory typu KC; ze stejného důvodu se často používá Darlingtonovo zapojení. Nedostatkem tohoto klasického řešení jsou problémy s tolerancemi součástí při oživování, navíc se obtížně zajišťuje stabilní funkce, má-li být výstupní signál přesně harmonický. Proto se používají i jiná zapojení, využívající např. kmitočtové filtrace signálu pravouhlého průběhu, vytvářeného jednoduchým astabilním multivibrátorem (obr. 16).



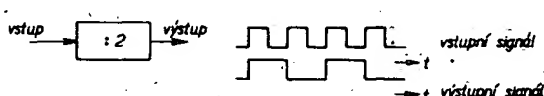
Obr. 16. Jiný princip vytváření sinusového infrazvukového signálu

Základní oscilátor se zpravidla kmitočtově moduluje tak, že se modulačním signálem působí na signál opakovacího kmitočtu pouze v jedné části (t_a nebo t_b) periody signálu. Přitom se obvykle ovládá signál určité napětové úrovně, na niž je citlivá doba trvání příslušného úseku generovaného signálu. Tak např. u generátoru na obr. 12 se superponuje modulační signál na kolektorové napětí T_2 v době uzavření tohoto tranzistoru. Při proudovém výstupu generátoru vibrátového kmitočtu je linearita kmitočtového rozmitání dobrá. V jiném zapojení základního generátoru (obr. 13) ovládá modulační signál okamžitou úroveň referenčního napětí báze T_1 . Také zde je předpokladem dosažení dobré linearit velkých poměrných vnitřní odpor zdroje modulačního signálu, což ostatně souvisí i s požadavkem minimálního rozladění (kmitočtové odchylky) při zapnutí (výpnutí) vibrata. Kmitočtový zdvih se obvykle (i v uvedených případech) ovládá změnou úrovně modulačního napětí. V obou uvedených příkladech musí být modulační signál zbaven stejnosměrné složky. Nevhodná pro základní tónové generátory jsou taková zapojení, u nichž nelze vymezit vliv modulačního signálu do samostatně definované oblasti časového průběhu. V těchto případech dochází k šířkové modulaci, kmitočtové rozmitání je buď nulové, nebo nelineární. Zdůrazníme, že stále máme na mysli pouze běžné impulsní generátory.

Mohli jsme si již povšimnout jednoho z nejvýraznějších technických nedostatků jednohlasého klávesového nástroje – tím je velký počet nastavovacích prvků (jeden pro každou klávesu). Tato skutečnost je sice vyvážena celkovou jednoduchostí a lacinou konstrukcí, ale značně komplikuje seřízení i stabilitu nástroje. Teoreticky lze zjednodušit nastavování u systému vycházejícího z charakteru temperovaného ladění, u něhož oktavový poměr dvou libovolných tónů přesně roven dvěma. Stačilo by tedy ladit pouze dvanáct tónů nejvyšší oktávy a všechny potřebné tóny nižší vytvářet postupným dělením odpovídajícího tónu dvěma, čtyřmi atd.

To by ovšem vyžadovalo složitější (vícenásobný) spínací systém pro každou klávesu. U jednohlasých nástrojů, které mají rozsah dvou až tří oktáv, by toto řešení jistě nebylo zdůvodněné. Nicméně touto nepřímou cestou jsme se dostali k dalšímu výraznému obvodovému prvku elektronických nástrojů – dvojkovému (binárnímu) kmitočtovému děliči. V různých souvislostech bývají tyto děliče nazývány také oktavové nebo stopové, jejich charakteristickou vlastností je schopnost dělit opakovací kmitočet impulsních signálů dvěma. Existují různé varianty těchto obvodů, my však budeme vždy užívat děliče s pravouhlým průběhem výstupního signálu vzhledem ke spolehlivosti a perspektivním vlastnostem. Znázornění vzájemných časových poměrů vstupního a výstupního signálu tohoto děliče je na obr. 17. V jednohlasých nástrojích jsou děliče nejčastěji řešeny na principu bistabilních klopných obvodů s tranzistory. Dělič musí spolehlivě pracovat v širokém rozsahu změn opakovacího kmitočtu vstupního signálu. Klasické zapojení je na obr. 18, jeho činnost je tak jednoduchá

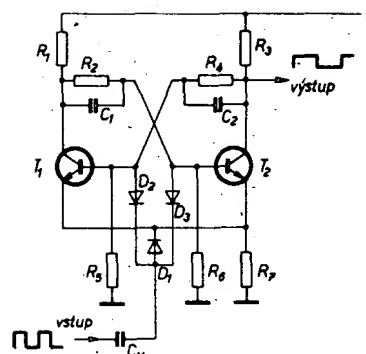
Obr. 17. Princip a časové průběhy impulsních stopových děličů



a známá, že se jí nebudeme zabývat. Podtrhneme pouze, že vstupní signál musí mít strmou spouštěcí hranu a určitou minimální napětovou úroveň, aby jeho derivace mohla zajistit spolehlivé překlápění. Z těchto i jiných důvodů je často mezi generátorem a děličem klopný obvod s napětovou hysteresí (Schmittův obvod) nebo jednoduchý spínač, pracující jako napětový omezovač vstupního signálu (např. T_1 na obr. 12).

Zmíňme se nyní konkrétněji o řešení zvukového zabarvení – stručným popisem základních metod jsme se zabývali v kapitole Elektronická syntéza barvy zvuku. Nejvhodnějším systémem, který by teoreticky plně vyhovoval pro realizaci potřebného spektrálního složení komplexního signálu, je harmonická syntéza. Pokud bychom chtěli napodobit zvuk některého nástroje, mohli bychom postupným rozložením jeho spektra v příslušných tónových oblastech (např. spektrálním analyzátozem) vyšetřit odpovídající úrovně jednotlivých harmonických složek, podílejších se na tvorbě tohoto signálu, čímž bychom současně získali i požadovaný tvar přenosové charakteristiky formantového filtru. Práce založené na podobném zkoumání zvukových signálů již přinesly řadu cenných poznatků. Bohužel, nejdůležitějším a zcela logickým zjištěním je, že pro opravdu věrné napodobení širšího souboru nástrojů je počet potřebných harmonických složek technicky neúnosný. Přesto však jsou výsledky harmonické analýzy velmi důležité a jsou východiskem pro řešení jiných systémů.

Je např. známo, že nejmenší obsah harmonických složek mezi nástroji mají jednoduché píšťaly nebo flétny; jejich zvukové zabarvení je měkké, časový průběh se velmi blíží sinusovému. To si ostatně můžeme ověřit sami, „pískneme-li“ si odpovídající signál z tónového generátoru. Naproti tomu třeba klarinet má výrazně potlačený spodní harmonické složky poměrně bohaté spektra. Pro napodobení tohoto zabarvení cestou selektivního výběru je třeba potlačit dolní části odpovídajícího kmitočtového rozsahu, např. pomocí horní kmitočtové propusti. Rezonanční (formantové) zvýraznění okolí čtvrté harmonické je obecně charakteristické pro jazyčkové a strunné nástroje, konkrétní rozlišení nástroje je určováno především posuvem a kvalitou formantové oblasti. Pro smyčcové nástroje je charakteristická potlačená formantová oblast s minimem v okolí 1 kHz.



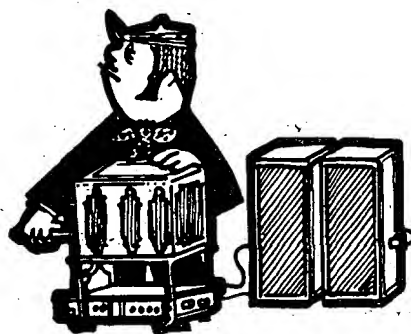
Obr. 18. Možné zapojení jednoho děličového stupně s diskrétními součástkami

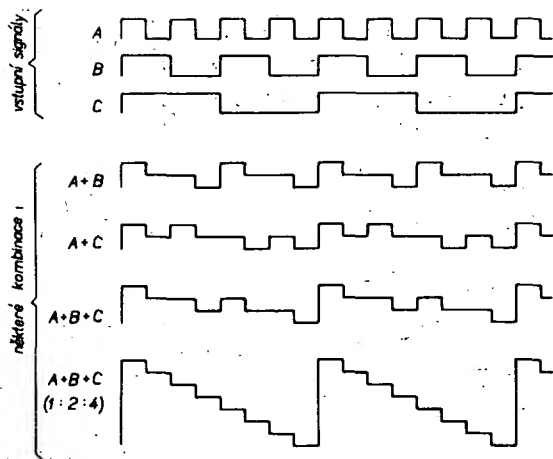
Formantová oblast v okolí 3 kHz dává nástroji stříbitý, zvonivý charakter. Výrazný a rovnoměrný podíl vyšších harmonických

složek se zase projevuje ostrým, až nepříjemným charakterem zvuku.

Výhodu exaktního stanovení potřebné spektrální skladby akustického signálu používají pouze některé drahé koncertní nástroje, které však v současné době ustupují do pozadí. Ukázalo se, že rozsah možných zabarvení, jehož je možno u těchto nástrojů dosáhnout, není vždy atraktivní; nástroje jsou většinou využívány v několika charakteristických zvukových polohách. Velmi podobných výsledků se dosahuje levnější a jednodušší cestou – registrovou syntézou, která byla dovedena, také díky poznatkům z výzkumu harmonické syntézy, do velmi pokročilého stavu.

Již dříve jsme si uvedli, že teoreticky dobré předpoklady pro tvorbu zvukového zabarvení má systém selektivního výběru, ovšem pouze tehdy, má-li vstupní signál bohaté a rovnoměrné spektrální složení. Jako příklad jednoduchého periodického průběhu, blízkého se tímto vlastností, jsme uvedli signál pilovititého průběhu, získat však stabilní signál pilovititého průběhu v širším kmitočtovém rozsahu je poměrně obtížné. Podobný signál s ještě bohatším spektrálním složením je však možno získat lineární kompozicí různých počtu signálů pravouhlého průběhu, jejichž opakovací kmitočty jsou v oktavovém poměru. Přidáním dalších oktavových složek je možno v širokém rozsahu ovlivňovat tvarový průběh a tím i spektrální složení





Obr. 19. Názorné příklady vytváření různých časových průběhů kombinací synchronních signálů A, B, C. První tři příklady ukazují možnosti lineárních kombinací se stejnými poměry zúčastněných signálů. Stejný význam však mají i váhy těchto signálů. To ukazuje čtvrtý příklad - váhami signálů A : B : C = 1 : 2 : 4 je vytvořena sedmistupňová aproximace pilovitého průběhu

výsledného signálu. Příklady některých uvedených kombinací jsou na obr. 19.

Další důležitá úprava výsledného signálu spočívá v tom, že jednotlivé oktávy složky mohou mít nejrůznější spektrální obsah a mohou se směřovat v nejrůznějších poměrech. V tom je vlastně podstata technické realizace registrové syntézy. Základním průběhem každého vstupního signálu je obvykle průběh pravouhlý. Ten může být známými způsoby upravován na řadu jiných signálů s odlišným spektrálním složením. Kmitočtově závislémi obvody lze např. snadno upravit signál pravouhlého průběhu na trojúhelníkový nebo sinusový, nelineárními obvody lze průběh signálu konvertovat na pilovitý atd. Kombinace registrové syntézy s formantovými obvody dává skutečně dobré předpoklady pro tvorbu variabilních a kvalitních zvukových zabarvení.

Mnohdy se používají zjednodušené varianty registrové syntézy, zvláště u nástrojů s omezeným počtem registrů. Prioritu podle přístupu k řešení pak mají buď formantové obvody, nebo se vychází ze směšovacího poměru jednotlivých základních složek. Obě cesty umožňují výrazně zjednodušit rejstříkové obvody při zachování dobrých zvukových vlastností nástroje pro běžná použití.

Všimněme si znovu, že obvody, jimiž jsou generovány vstupní signály pro registrovou syntézu, jsou kmitočtové děliče. U elektronických nástrojů jsou výstupní signály jednotlivých děličů označovány jako stopy. Ne zcela správně je zavedeno pravidlo, že nejvyšší kmitočet, odebraný z celého řetězu (obr. 8) bývá označován jako stopa 2'. Následují obvykle stopy v pořadí 4' - 8' - 16' atd. Podle logičtějšího označování, odvozeného od rozměrů píšťal klasických varhan, patří registru, začínajícímu tónem C, kontra-oktávě stopa 16', registru, začínajícímu tónem C velké oktávy stopa 8', dále pak 4', 2' a 1'. Registrem z hlediska používání nástroje označujeme zařízení (sklopku, spínač), jímž zařazujeme do znějícího signálu příslušné stopy. První stopové označení je výhodné z hlediska orientace v elektronických obvodech.

Signály jednotlivých stop jsou v souladu s předchozími úvahami zaváděny do registrových rejstříků, v nichž se spektrálně upravují. Symbolické znázornění klasické úpravy rejstříkového obvodu jednoduchého nástroje je na obr. 20. Užití naznačených spínačů umož-

ňuje vydat vnoucný signál různé zvukové kvality u každé stopy. Současně je možno jednotlivé stopy mezi sebou vzájemně kombinovat. Výsledný průběh je ovlivněn způsobem úpravy signálu každé stopy, ať již pomocí dolních či horních propustí, formantových filtrů LC (o určitém f_0 a Q) nebo prostou úpravou podílu základního stopového signálu.

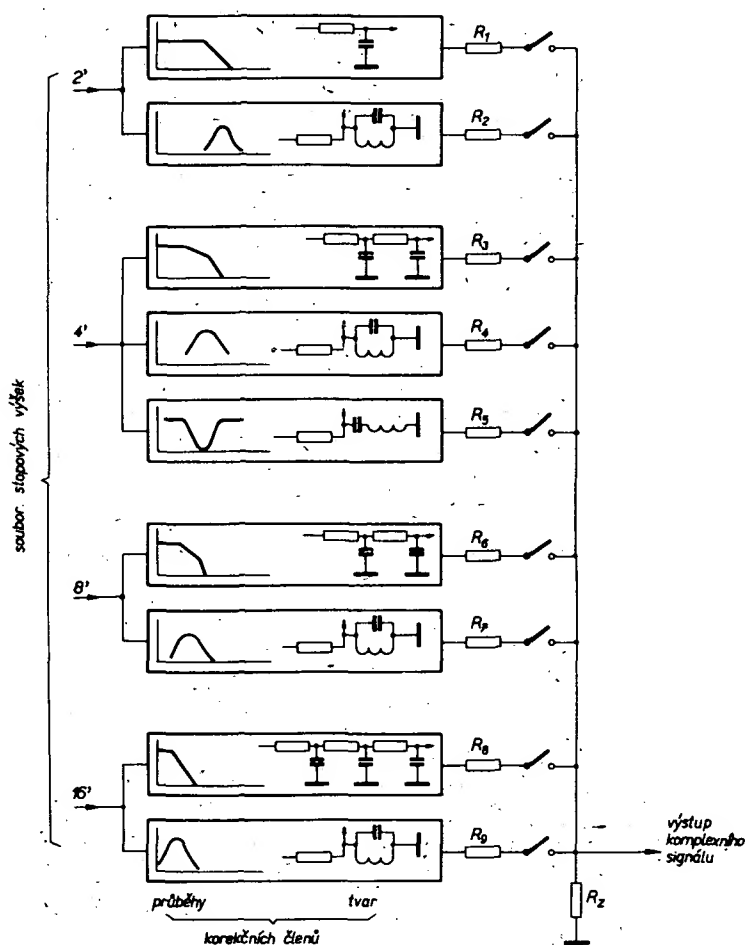
Stiskneme-li na nástroji určitou klávesu, pak při zařazení např. stopy 2' zní určitý tón. Zařadíme-li místo stopy 2' stopu 4', bude znít

tón o oktávu nižší. Z toho vyplývá, že takto koncipovaný nástroj umožňuje posouvat znějící oktávy rozsah v poměrně širokém intervalu, daném prakticky počtem použitých stop. Nástroje však většinou pracují s využitím registrové syntézy, s kombinovaným využitím všech nebo několika stop. K operativnímu výběru jednotlivých registrů nebo jejich kombinací slouží registrové ovladače (sklopky nebo tlačítkové přepínače). K dobrému nástroji patří i kvalitní vyrovnání dynamických úrovní jednotlivých registrů.

Všimněme si ještě jedné zajímavé skutečnosti. Často se k úpravě výsledného akustického dojmu potlačuje úroveň některých stop. Subjektivně pak zařazujeme zvukový projev obvykle do oktávy, příslušné nejvýraznější složce, např. stopě 8'. Přesto se na komplexním signálu podílejí také stopy vyšší, např. 2' nebo 4'. Hudebně citelný kmitočet však odpovídá stopě nižší. Stopy 2', 4' jsou tedy skutečně oktávy násobky subjektivně vnímaného základního tónu, stejně jako jejich spektrální složení má odpovídající podíl na skladbě komplexního signálu. Stopy 2', 4' se v těchto případech nazývají někdy předřadné stopy. Je-li však nejvýraznější složkou signálu stopa nejvyšší, jsou ostatní stopy v poměru k této základní stopě oktávy zlomky. V zahraniční literatuře se také nazývají doplňkové.

Toto oboustranné ovlivňování podílu jednotlivých stop na charakteru komplexního signálu je plně v souladu s principem registrové syntézy, je však třeba si uvědomit vliv vzájemného podílu energetických úrovní jednotlivých stop na subjektivní hodnocení relativní výšky a čistoty vnímaného tónu.

Na závěr povídání o registrové syntéze si uvedme orientační příklady vhodných regis-



Obr. 20. Princip registrové volby (odpory R_1 až R_9 slouží k vyrovnání hlasitosti jednotlivých stop)

STOPA	FILTR	NÁSTROJ
2'		pikola
4'		flétna
		smyčce
		kornet
8'		flétna
		smyčce
16'		flétna
		lesní roh

Obr. 21. Několik jednoduchých registrových obvodů

trových filtrů jednotlivých stop pro napodobení některých nástrojů. Příklady, znázorněné na obr. 21, vycházejí ze vstupního signálu pilovitého nebo i pravouhlého průběhu a zanedbatelného vnitřního odporu zdroje. Rovněž není uvažován vstupní odpor zátěže.

Signál, vytvářený některým ze způsobů, které jsme si uvedli, je u řady nástrojů již přímo zpracován v úrovňovém a výkonovém zesilovači. Takové řešení však nerespektuje jednu zvláštnost elektronických nástrojů, u nichž jsou jednotlivé tóny ovládané kontaktním způsobem. U takového systému, má-li mít určité kvalitativní parametry, je nutno nějakým způsobem zabránit vzniku nebo uplatnění rušivých jevů, vznikajících při stisku nebo uvolnění klávesy. Vzhledem k závažnosti tohoto problému se jeho řešení budeme věnovat v samostatné části.

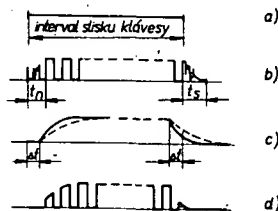
Kliksy u jednohlasých nástrojů

Dosud jsme mlčky přecházeli problém tvorby nebo ovlivnění časového průběhu modulační obálky jednotlivých tónových intervalů. Dále si ukážeme, že u jednohlasých nástrojů s kontaktním ovládáním úprava modulační obálky v širších souvislostech, bez dozvukového zařízení, není ani možná. Je zde však ještě jeden důvod, pro který je třeba si důkladněji všimnout definice tónového intervalu – tím je vliv rušivých signálů, obvykle označovaných jako kliksy. Zůstává paradoxem, souvislím s technickými problémy, že u jednohlasých nástrojů kliksy často potlačovány nejsou, ačkoli právě při jednohlasé hře jsou nejvýraznější a mimořádně negativně ovlivňují výsledný dojem. Na tuto otázku je v literatuře obtížné najít uspokojivou odpověď, protože příčin vzniku kliků je více a názory na jejich původ a metody odstranění jsou u jednotlivých autorů často v rozporu.

Pokusme se proto o hlubší rozbor. Co to vlastně jsou kliky? Kliksem budeme vždy rozumět nežádoucí efekt, vznikající při náhlém (např. kontaktním) spínání nebo rozepínání řetězu akustického signálu. Není rozhodující, je-li tímto způsobem uváděn do

činnosti akustický zdroj (generátor), nebo je-li ovládána cesta signálu do zdroje. Příčinou kliků jsou obvykle složité, prakticky náhodné. Omezme se nyní na nástroje s ovládanými generátory, tedy s nespojitou činností.

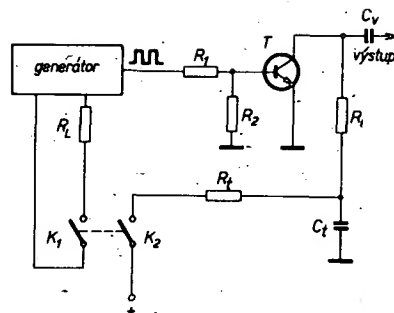
Stisk klávesy vymezuje interval, po který má nástroj generovat požadovaný tón (obr. 22). Při tomto časově nahodilém sepnutí



Obr. 22. Potlačení kliků u jednohlasých nástrojů

klávesy generátor vychází ve srovnání s ustáleným režimem z nedefinovatelných počátečních podmínek, závislých na konkrétním zapojení, době setrvání v klidové poloze atd. První nebo několik počátečních impulsů má časově nedefinovaný a mnohdy také amplitudově nestabilní průběh. Podobně je tomu i při rozpojení spínače klávesy. V obou případech se na další komplikaci charakteru kliků výrazně podílí mechanické rezonance a zakmitávání spínací soustavy (jazýčkových kontaktů): je možno ověřit, že i u velmi kvalitních mřížkových spínačů jsou některé složky těchto zážitků velmi rychlé a prakticky neodstranitelné. Vedle úplného rozepínání nebo spínání kontaktů se vlivem zážitků výraznou měrou uplatňují také diferenciální změny přechodového odporu kontaktu. (Vliv přechodového odporu by ostatně měl být zahrnut také do rozvahy kmitočtové stability nespojitého generátoru.) Je zřejmé, že příčin vzniku kliků v konkrétním případě je vždy celá řada, což znesnadňuje identifikaci a lokalizaci ohnisek jejich vzniku. Typické pro vnímání kombinovaného kliku jsou nejružnější pavuky na počátku a ukončení tónového intervalu, připomínající skřípení nebo praskot.

Jakým způsobem se kliky odstraňují? Řekněme rovnou, že jejich úplné odstranění, stejně jako výraznější ovlivnění modulační obálky jednotlivých tónů je prakticky nemožné. Důvodem je okamžitá reakce generátoru na spínací systém klávesy. Všimněme si obr. 22b. V okamžiku stisku klávesy přechází generátor z klidové polohy do pracovní, což je po určitou dobu, než dosáhne ustáleného režimu, doprovázeno přechodovými jevy, kliky. Stejně při uvolnění klávesy je mřížkové přerušena ustálená činnost, přechod do klidové polohy je opět doprovázen kliky. Chceme-li kliky odstranit, je nutno v intervalech t_1 , t_2 potlačit přenos, např. omezením zisku zesilovače. K tomuto účelu je možno využít libovolného zesilovacího stupně, který pak pracuje jako tzv. omezovač kliků. Typický příklad je znázorněn na obr. 23. Časový průběh napětového zisku tohoto stupně je programován vnitřním uspořádáním a odvozován od stavu manuálu (polohy kláves). Princip činnosti je jednoduchý. Jsou-li rozpojeny oba kontakty K , generátor nekmítá a oddělovač nepracuje, protože není napájen. Po stisknutí klávesy se generátor rozkmitá, čímž vznikne klik. Oddělovač má však v počátečním stavu minimální zisk, protože jeho napájecí napětí se zvětšuje s určitou časovou konstantou, určenou prakticky prvky R_1, C_1 . Plný zisk může mít teoreticky kdykoli (podle volby časové konstanty) po proběhnutí kliku. Tím bychom také mohli získat libovolný tónový náběh. Aby však bylo možno potlačit kliky také při ukončení

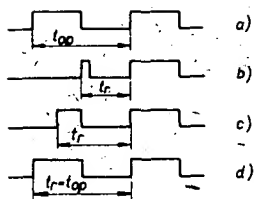


Obr. 23. Oddělovač kliků, využívající ovládaného rozkmitu výstupního napětí (napětový omezovač); K_1 spíná vzhledem ke K_2 s předstihem, naopak K_2 se rozpojuje s předstihem vzhledem ke K_1 .

tónového intervalu, musí mít kontakt, ovládající oddělovač, určitý reakční předstih před kontaktem, ovládajícím generátor. Toho se dosahuje tím, že jsou oba kontakty mechanicky upraveny tak, že kontakt K_2 rozepíná vzhledem ke K_1 s určitým časovým předstihem. Snadno nahlédneme, že z mechanických důvodů může být pro běžnou techniku hry tento předstih pouze nepatrný, řádu ms. Při velké časové konstantě reakce oddělovače vidíme z obr. 22c, že by nebyl vůbec potlačen klik na konci tónového intervalu. Proto je nutno ve srovnání s polyfonními nástroji volit pouze velmi krátkou časovou konstantu. Z těchto důvodů je také možno dívat se na klasický oddělovač jako na anachronismus, převzatý od polyfonních nástrojů, u nichž jsou ovšem podmínky pro jeho činnost zcela odlišné. Na druhé straně je zřejmé, že najit vhodnější způsob řešení je obtížné.

Rada našich i zahraničních konstruktérů používá u těchto nástrojů k potlačení kliků mj. oddělovací kondenzátory, omezující přenos nízkých kmitočtů. Toto řešení považují za nelogické, protože spektrum kliků má výrazný podíl vyšších harmonických složek. Oddělovací kondenzátory jsou vhodné především u nástrojů, vybavených oddělovači – pak lze jimi skutečně potlačit kliky, vznikající impulsy kolektorového napětí oddělovače v závislosti na jeho ovládaném kontaktem K_2 . Vzhledem k omezené velikosti časové konstanty tyto impulsy zasahují do akustického spektra. V každém případě však oddělovací kondenzátory potlačují vlastně druhé kliky, zaváděné do signálu použitím oddělovače. Je zřejmé, že při návrhu oddělovače nebo při posuzování vhodného zapojení je třeba postupovat uvážene.

Sám se domnívám, že nemůžeme-li v rozumném rozsahu ovlivňovat průběh modulační obálky, měli bychom se především zaměřit na co nejdokonalejší potlačení neperiodických jevů ve vztahu ke generovanému signálu, protože náběh či dozívání melodických skupin zlepšují také regulátor dynamiky a trikové efekty. Navíc se stále častěji žádá různé nasazení tónu, ovšem čisté, bez kliků. Když jsem chtěl posoudit možnosti této cesty, vycházel jsem ze subjektivního hodnocení tónového intervalu při němž jsem vhodným způsobem eliminoval vliv kontaktů a ostatních přechodových jevů na okrajové oblasti. Hodnocení se zúčastnilo několik posluchačů. Akustický signál pravouhlého průběhu se střídou 1 : 1 s možností plynulého fázového posuvu s velkou náběžnou rychlostí byl spínán v různých vztazích k náběžné hraně prvního impulsu. Totéž jsem ověřoval i ve vztahu k sestupné hraně posledního impulsu.



Obr. 24. Různé možnosti startu intervalu impulsů; a) kontinuální signál, b), c), d) možné příklady, vhodný je pouze příklad d)

Současně jsem zamezil jakékoli kolísání výstupní úrovně mezi nulovou a špičkovou hodnotou výstupního signálu. Výsledek testu potvrdil předpoklady. Pokud se na počátku nebo konci sledu impulsů vyskytl byl i jen jediný a krátký impuls rozdílné doby trvání $t_r \neq t_{op}$ (obr. 24), byl dojem vždy poznamenán jakýmsi „škrábnutím“, značně nepříjemným. Důvod je zřejmý, je jím zcela odlišné spektrum tohoto signálu ve srovnání se signálem neperiodického intervalu. Pokud bylo spínání upraveno tak, aby byl signál ovládan přesně s hranou prvního nebo posledního vybraného impulsu, tento rušivý jev zmizel. Ovšem ani při dokonalém synchronním spínání není pocit z poslechu dokonalý. I když zmizí charakteristický praskot a lupání, náběh a doznění tónu jsou provázeny jakýmsi zhoupnutím, vznikajícím náhlou dynamickou změnou, jejím ostrým náběhem. Shodli jsme se na tom, že výrazněj-

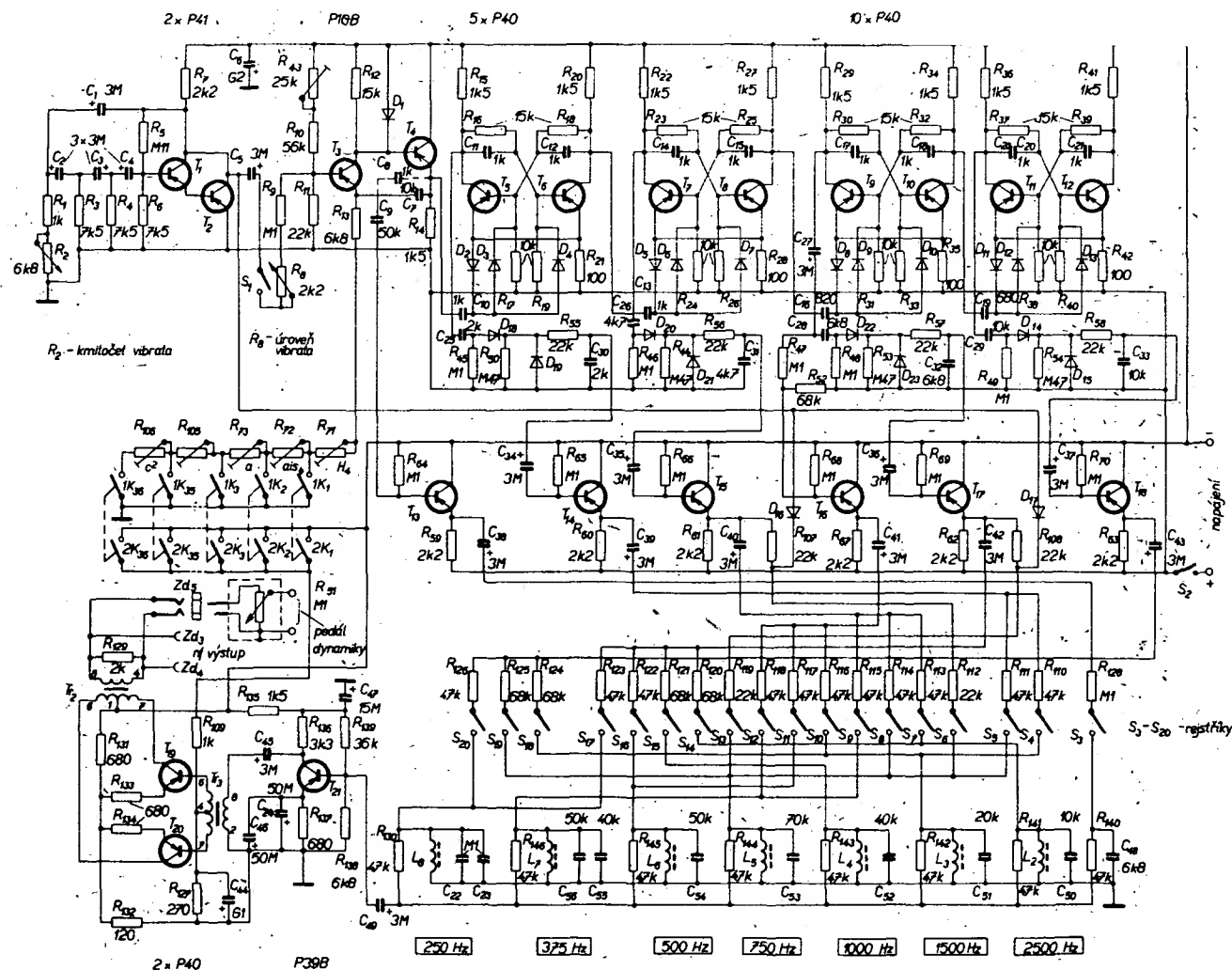
ší je tento efekt při ukončení tónového intervalu, při „skoku do prázdna“. Určitý vliv zde má i spektrální složení zkoumaného signálu. Mnohem výrazněji se však uplatňuje vliv opakovacího kmitočtu, což je opět zcela logické. Se snižujícím se kmitočtem je i dojem britkosti tónového nasazení nebo doznění méně výrazný. Při opakovacím kmitočtu nižším než asi 800 Hz je výsledný dojem naprosto uspokojivý. Je-li základní signál podložen dalšími stopami, které jsou jeho oktávy, pak jsou výsledky ve srovnání s užitím oddělovače velmi dobré, neprojevují se žádné rušivé efekty (až asi do 2500 Hz). U vyšších kmitočtů se opět zvolna začíná projevovat typické „houpání“, i pak však je čisté, bez průvodních znaků kliku. Je samozřejmé, že odstranit vliv zákmitů spínače i přechodových jevů generátoru je u běžných generátorů složité. Při použití vhodných konstrukčních prvků je však zásadně možné; podobné řešení jsem použil v praktické konstrukci.

Zapojení jednohlasého nástroje

I když se dále nebudeme zabývat popisem továrních nástrojů, učiníme výjimku. Pomůže nám uvědomit si podrobněji všechny souvislosti, které jsme dosud uváděli a ukáže také, že i konstrukce jednoduchého nástroje, má-li mít solidní vlastnosti, není ještě stále něčím, co by se dalo „spíchnout“ přes noc. Doporučoval bych čtenářům, kteří se dosud žádnou podobnou konstrukcí nezabývali, aby si za-

pojení podrobně prostudovali. Použité obvody jsou jednoduché a pochopit jejich funkci při troše pozornosti nebude činit potíže.

Schéma na obr. 25 představuje sovětský nástroj Romantika, vybavený rozsahem tří oktáv a určený pro jednoruční jednohlasou hru. Základní generátor je jeden, osazený tranzistory T_3, T_4 v zapojení emitorové vázaného multivibrátoru. Kmitočty jednotlivých tónů se nastavují odporovými trimry R_{51} až R_{106} , tóny se volí kontakty $1K_1$ až $1K_{36}$, ovládanými jednotlivými klávesami. Generátor vibrata (T_1, T_2) je v běžném zapojení s fázovacími články. U tohoto nástroje je možno ovládat amplitudu a kmitočet vibrátového modulačního signálu. Čtyřmi klopnými obvody (T_5 až T_{12}) jsou vytvářeny stopy 2', 4', 8' a 16'. Stopa 1' je odebrána přímo ze základního generátoru. U stop 2' až 16' je pravouhlý signál upravován na pilovitý nelineárními obvody, u stopy 8' je sledovačem T_{16} vyveden také signál pravouhlého průběhu. Ostatní sledovače impedance přizpůsobují tvarovací obvody k rejstříkovým filtrům. Jsou to tranzistory $T_{13}, T_{14}, T_{15}, T_{17}, T_{18}$. Kromě odporové sítě je v rejstříkových obvodech použito sedm formantových filtrů, jednotlivé oblasti jsou znázorněny ve schématu. U stop 4' a 8' je v některých kombinacích možno diodami D_{16}, D_{17} zavádět pomocnou amplitudovou modulaci infrazvukovým signálem, odebraným z generátoru vibrata. Výběr zvukových kombinací je na nástroj tohoto typu značně pestrý, stopa 1' má jeden rejstříkový spínač, 2' – dva, 4' – čtyři, 8' – osm a 16' – tři.



Obr. 25. Jednohlasý elektronický nástroj Romantika (podle [4])

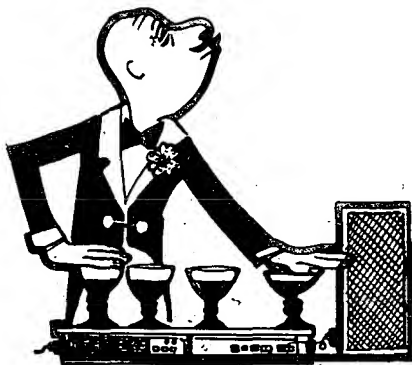
Základní funkce zesilovače s T_{19} až T_{21} je upravovat výstupní signál tak, aby mohl být nástroj připojen k běžnému výkonovému zesilovači. Ačkoli Romantika má hmotnost asi 18 kg, může bez externího zesilovače pracovat pouze se sluchátkem. Nf zesilovač kromě své základní funkce pracuje také jako oddělovač kliků. Ovládání je zajištěno kontakty $2K_1$ až $2K_{36}$. Kontakty $1K$ a $2K$ jsou vzájemně nastaveny tak, že při stisku klávesy sepně nejprve $1K$ a pak teprve $2K$, při uvolnění rozpíná $2K$ s časovým předstihem před $1K$. Přes kontakty $2K$ je napájen obvod bázi symetrického zesilovače s T_{19} , T_{20} . Při rozpojení kontaktů je stupeň zavřený, po jejich sepnutí zesilovač začíná pracovat s časovou konstantou R_{109} , R_{127} , C_{44} . Při rozpojení $2K$ (s časovým předstihem před ukončením tónového intervalu) se potlačuje klik zmenšením zisku symetrického zesilovače. Vzhledem k jednoduchosti se dalším popisem nástroje zabývat nebudeme. Je samozřejmé, že napájecí napětí musí být stabilizováno. Snad ještě pro orientaci uvedme, že technologicky je nástroj řešen na čtyřech deskách s plošnými spoji. Na jedné je základní generátor, generátor vibrata a první kmitočtový dělič, na další tři děliče, na třetí všechny emitorové sledovače a konečně na čtvrté rejstříkové obvody a zesilovač. Příslušným nástrojem je pedál k ovládání dynamiky.

Zvláštnosti jednohlasých nástrojů

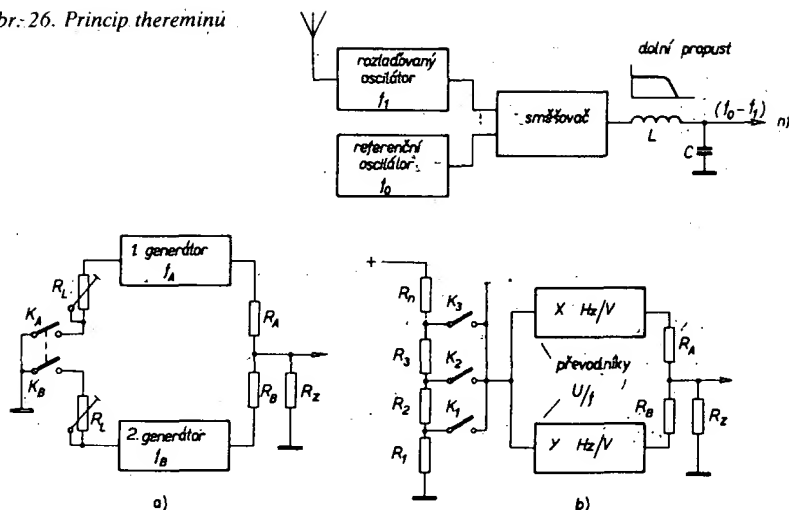
V praxi se samozřejmě můžeme setkat s různými způsoby řešení i aplikací nástrojů. Všimneme si několika nejzajímavějších.

Jako generátor tónového signálu jsme dosud uvažovali astabilní multivibrátor. Vhodná jsou i jiná řešení, zajímavým příkladem je nástroj Solovox fy Hammond, v němž jako základní generátor pracuje oscilátor LC. Ladicí kondenzátor je neměnný, přepínají se cívky rezonančního obvodu, jejich dolaďovací jádru lze snadno nastavit jednotlivé tóny. Princip generátorů LC umožňuje dosáhnout velké kmitočtové stability, přináší však i některé problémy (obtížnější zavádění kmitočtového rozmitání, vibrata, u generátorů s extrémní stabilitou).

Dosud jsme také uvažovali ovládání generátoru kontakty. Toto řešení, i když je poměrně dobré a především levné, má, jak jsme konečně poznali, také řadu nedostatků. U nástrojů se občas můžeme setkat i s jinými způsoby ovládání. Zapojení, reagující na dotek prstu, pracují např. na kapacitním nebo fotoelektrickém, popř. i jiných principech. Většinu praktických konstrukcí tohoto typu můžeme dosud považovat spíše za technickou kuriozitu vzhledem k vysokým nákladům a většinou negativnímu vlivu na kmitočtovou stabilitu. S rozvojem aplikace senzorových prvků se však jistě i v této oblasti a zvláště u nástrojů vyšších kvalitativních skupin dočkáme odklonu od kontaktového ovládání.



Obr. 26. Princip thereminu



Obr. 27. Realizace chórového efektu; a) s klasickými relaxačními generátory, b) s generátory konverzního typu

Zvláštní skupinu jednohlasých nástrojů tvoří buď samostatné systémy nebo části složitějších nástrojů, u nichž se výška tónu ovládá plynule. Jako příklad můžeme zvolit reminiscenci z pravěku elektronických nástrojů – efektní záznejový systém, dodnes nazývaný podle svého původce Theremin. Tento nástroj byl ovládán pohyby ruky v prostoru kolem záhadné skříňky. Blokové schéma je na obr. 26. Dva vysokofrekvenční oscilátory se shodným základním pracovním kmitočtem $f_0 = f_1$ mají nulový záněj. Jeden z generátorů je opatřen čidlem (kapacitním snímačem, malou anténkou ap.), umožňujícím vhodným způsobem ovlivňovat jeho rezonanční kmitočet. Při $f_0 \neq f_1$ je možno kmitočtovou filtrací oddělit od základních signálů a ostatních směšovacích produktů dolní-rozdílovou složku ($f_0 - f_1$), odpovídající tónovému signálu. Výška tónu je tedy úměrná stupni rozladění generátoru f_1 ; charakter akustického signálu je prvotně závislý na průběhu směšovací charakteristiky. Plynulé změny tónu samozřejmě můžeme dosáhnout i s multivibrátorem, u kterého plynule ovládáme ladicí prvek, např. odpor (potenciometr).

V současné době se v hudebních nástrojích začíná uplatňovat nový způsob generování tónového signálu. Je jím aplikace převodníků napětí-kmitočet, přičemž výstupní signál může produkovat současně několik základních periodických průběhů a tím také mohou být využívány jejich vzájemné kombinace. Převodníky U/f jsou často nazývány také napětově řízené oscilátory – VCO (voltage controlled oscillators). Rozdíl aplikace VCO od klasických generátorů je především v tom, že se pro změnu výšky tónu nevyužívá úpravy některého diskretního ladicího prvku, ale kmitočet se mění úpravou vstupního, řídicího napětí. Tento princip přináší řadu nových možností do syntetické tvorby hudebních signálů. U jednohlasých nástrojů by se např. s použitím vzorkovacích obvodů typu sample and hold mohly zcela odstranit problémy s kliky. Převodníky U/f , stejně jako ostatní příslušné obvody jsou u nás v integrované formě dosud nedostupné. Návrhem a problémy tohoto zapojení s běžnými součástkami jsem se zabýval v [18]. Tuto stručnou zmínku o VCO si doplníme později, zatím stačí uvést si, že je možno precizně definovat kmitočet tónu v závislosti na vstupním analogovém napětí.

V souvislosti s jednohlasými nástroji si objasňme ještě princip zvukového efektu, nazývaného chorus, který je obdobou dojmu, jaký získáváme například při poslechu varhanního koncertu v prostorách kostelů, kde se zvuk šíří mnoha nejrůznějšími směry

a odrazy. Tento efekt je však v klasické formě užíván pouze u nejdražších nástrojů vzhledem k technické náročnosti a vysokým nákladům. Realizace efektu, znázorněná na obr. 27, spočívá na vytvoření záznejů dvou velmi blízkých kmitočtů f_0 a f_1 . Na obrázku jsou znázorněny dva generátory. První je laděn přesně na kmitočet žádaného tónu, druhý je od tohoto kmitočtu nepatrně rozladěn. Potom kromě hraných tónů vnímáme ještě akustické záznejy, určené okamžitými amplitudovými rozdíly odlišných kmitočtů generátorů. Charakter záznejů je proměnný; protože časový průběh obou signálů je asynchronní. Chorusový dojem je obvykle umocňován cyklickými odchylkami některého parametru, např. působením vibrata nebo tremola na signál jednoho nebo obou generátorů.

Nyní můžeme uzavřít tuto kapitolu, týkající se jednohlasých nástrojů. Závěry, které je možno si vytvořit, nám umožní věnovat se problematice nástrojů složitějších.

Nejzávažnějším omezením jednohlasých nástrojů je bezesporu možnost produkovat pouze jediný tón v reálném čase. Proto jsou často užívány buď jako vedlejší nástroje malých orchestrů, nebo jako doplňky nástrojů jiných, jako je harmonika ap. Primitivním se může zdát upozornění, že i s jednohlasým nástrojem je možno „stvořit“ vícehlasou nebo akordickou skladbu – použijeme-li zvukový záznam způsobem, umožňujícím postupnou kombinaci jednotlivých složek výsledného souzvuku. Kvalitní a efektivní realizace takové nahrávky je technicky složitá, vyžaduje řadu řídicích a synchronizačních signálů atd. O této možnosti se zmiňujeme hlavně proto, že je v podstatě jedním z hlavních principů nové generace elektronických nástrojů – syntetizérů.

Nástroje vícehlasé

Je logické, že možnosti jednohlasých nástrojů, přes hudební působivost jejich projevu, jsou z hlediska uplatnění v orchestru velmi omezené, solidní sólová hra je prakticky nemožná. Pro rozšíření oblastí použití bylo třeba hledat cesty, umožňující také akordickou hru. Nabízí se řešení vybavit každou klávesu samostatným generátorem, pevně laděným na příslušný tón. Tak bychom vlastně vytvořili polyfonní nástroj, jehož obdoby byly skutečně realizovány. Pokud má takový nástroj dostatečně stabilní generáto-

ry, jsou jeho zvukové vlastnosti vzhledem k fázové autonomii jednotlivých tónů obvykle vynikající. „Vynikající“ jsou ovšem i náklady a technologické problémy, spojené s realizací. Do skupiny vícehlasých nástrojů patří především systémy, tvořící kompromis mezi kvalitativními vlastnostmi a pořizovacími náklady nástrojů jednohlasých a polyfónních.

Jaký je tedy princip těchto nástrojů? Stručně řečeno, omezují vždy počet tónů, které mohou současně znít. Uvažujme např. takto: hudebník může při ovládání manuálu použít nejvíce deset prstů. Tomu prakticky odpovídá maximálně deset současně stisknutých kláves, deset znějících tónů. Kdybychom měli generátorovou část nástroje upravenou tak, aby byly kdykoli k dispozici všechny tóny, odpovídající rozsahu manuálu (což je možné s pomocí 12 oscilátorů a příslušného počtu děličů, obr. 28), stačilo by

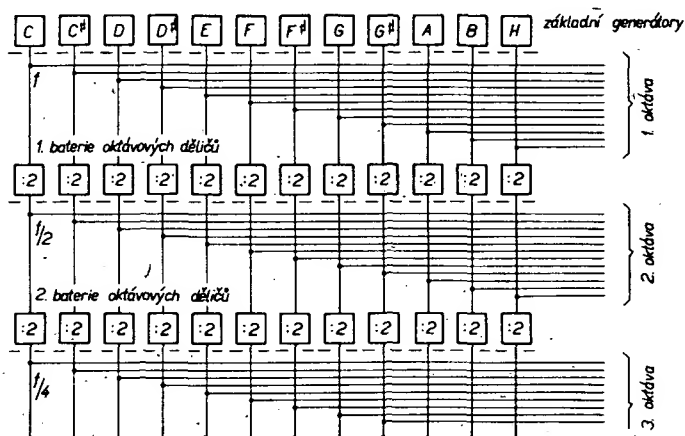
výběrem, a tím by složitost řešení přesáhla požadavky efektivní realizace. Příklad však ukazuje jeden charakteristický směr, spojený s koncepčním řešením vícehlasých nástrojů – je jím vždy určitý program, kterým jsou řízeny (a omezovány) vzájemné kombinační možnosti jednotlivých kláves (tónů). Předchozí úvahy si možná leckdo ujasní, vzpomen-li si na měřič elektronek TESLA BM215, jehož úpravu pro měření určitého typu elektronky zajišťuje ve stejném maticovém uspořádání programovací karta. Výměnou karty je zajištěna nová potřebná programová úprava. To je ovšem u hudebních nástrojů, kde se jednotlivé kombinační možnosti neustále mění, nemožné. Program, který je užíván v těchto případech, je velmi volný a spočívá především na jednoduchých úvahách z hudební teorie.

Zavedení jakéhokoli vnitřního, pevného programu do vnitřního systému nástroje vždy

interval prima – malá sekunda – velká sekunda je disonantní a jeho použití v akordické nebo jiné sestavě je výjimečné. Dále se využívá toho, že intervaly vyšší jak oktava (nona, decima...) jsou obvykle na manuálu na mezi obsáhnuti a při jednoruční hře se ani nepoužívají. Za těchto okolností vyhovuje pro jednoduchou akordickou hru systém, v němž je vždy interval tří sousedních půltónů, uvedený výše, zpracováván jedním z nespojitě pracujících generátorů. Vždy může být vybrán pouze jeden z těchto tónů! Při tomto uspořádání je pro úplné obsazení oktávy zapotřebí právě čtyř generátorů. Takto koncipovaný systém čtyřhlasého nástroje je na obr. 30.

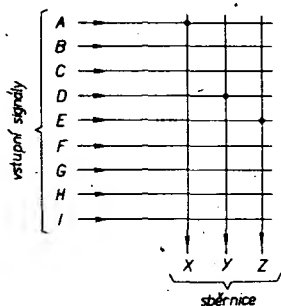
Nedostatky vícehlasých nástrojů bývají často nekriticky zamlčovány, nebo naopak přeháněny. Konstruktor bez znalosti hudebních zákonitostí se pak v takové situaci těžko orientuje. Pokusme se alespoň stručně rozebrat praktické vlastnosti čtyřhlasého a šestihlasého nástroje. K tomu využijeme tab. 7. V části A jsou rozděleny jednotlivé tóny do skupin čtyř generátorů, v části B je dvanáct tónů oktávy rozděleno na šest skupin, odpovídajících šesti generátorům. V části C je pak znázorněno intervalové schéma několika typů běžně užívaných akordů. Překreslíme-li si tuto tabulku a rozšíříme-li ji v naznačených místech, můžeme přiložením dílu C k dílům A nebo B a postupným posuvem základního tónu do různých poloh sledovat vliv jednotlivých systémů na věrnost zpracování požadované akordové sestavy tak, že zkoumáme, nejsou-li některé prvky (tóny) uvažované sestavy zvoleným systémem blokovány. Je samozřejmé, a také z tabulky vyplývá, že vztahy jednotlivých tónů a generátorů se ve všech oktávách přesně opakují. Pro posouzení akordové stavby až do oktávového rozpětí potom plně postačuje znázorněný dvouoktávový schematický model.

Budeme-li nejprve hodnotit klasický čtyřhlasý systém, můžeme konstatovat: základní durový akord zní plně ve všech tóninách. Je-li hrán v oktávovém rozpětí (prima – velká tercie – malá tercie – kvarta), je potlačován spodní vodící tón (prima). U nástrojů s tímto systémem je však vodící tón obsažen ve spektru oktávového tónu, jeho vyloučení má za následek pouze charakteristické zabarvení takto hraného akordu, které podle mých zkušeností přijímají muzikanti bez výhrad – alterování s kvintovým rozpětím stejného akordu je výrazné a sympatické. Stejně dobře vycházejí z hodnocení akordu mollové, zvětšené nebo zmenšené. Jinak je tomu u akordů, mezi jejichž některými intervaly je rozpětí menší než tři půltónové kroky. Představiteli této skupiny jsou v tabulce



Obr. 28. Princip kmitočtové ústředny (generátor + oktávové děliče)

pouze deset dalších dělicích řetězců pro vytváření potřebných stopových výšek každé klávesy, jak to vyžaduje princip registrové syntézy. Teoretická možnost takového ovládání je znázorněna na obr. 29 (je využito



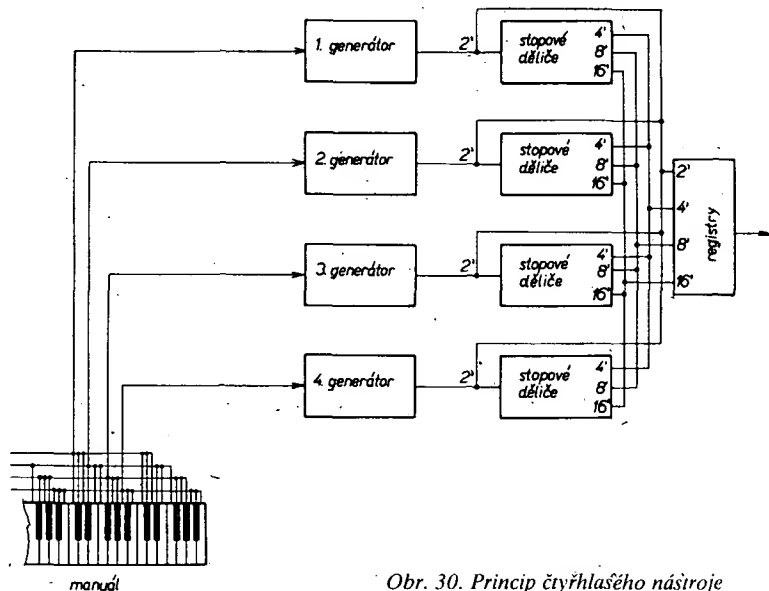
Obr. 29. Princip maticového výběru

maticového uspořádání spínací sítě). Pro jednoduchost uvažujme devět vstupních signálů a tři sběrnice. Chtějme např. zavést signály A, D, E na sběrnice X, Y, Z. Je zřejmé, že činnost je možná pouze tehdy, je-li při sepnutí určité cesty, například A–X, znemožněno další sepnutí libovolného prvku prvního řádku a prvního sloupce matice. Následující sepnutí (D–Y) by rovněž muselo znemožnit další využití zbývajících prvků čtvrtého řádku a druhého sloupce atd. Víme jistě, že spínací nebo jiný ovládací systém takového uspořádání by byl velmi náročný a neobešel by se bez určitého programu, ať již s nahodilým nebo postupným adresovým

nějakým způsobem omezi techniku hry, což je mimo jiné zřejmé již z toho, že tyto systémy jsou prakticky vždy řešeny pouze pro ovládání jednou rukou.

Pomineme-li dvouhlasé nástroje, jejichž praktická použitelnost je sporná, pak nejčastějším řešením jsou nástroje čtyřhlasé. Čtyřhlasý nástroj obsahuje vždy čtyři generátory a umožňuje současně produkovat několik různých tónů. Počet těchto tónů je závislý na konkrétní sestavě a základní tónině souzvuku – v ideálním případě mohou být znějící tóny čtyři.

U vícehlasých nástrojů je základním předpokladem úpravy vnitřního systému fakt, že



Obr. 30. Princip čtyřhlasého nástroje

Tab. 7. Vzájemným posuvem jednotlivých částí tabulky (A C nebo B C) je možno vyšetřovat aktivizaci jednotlivých generátorů při tvorbě akordů v různých tóninách. (Naznačená poloha tabulky před rozstříháním odpovídá tónině C; označení křížkem znamená znející tón)

A	Příklad systému se čtyřmi generátory	Pořadí generátorů	I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.	IV.				
		Prislušné tóny	C C ^b D	D ^b E F	F ^b G A ^b	A B H	C C ^b D	D ^b E F	F ^b G A ^b	A B H				
B	Příklad systému se šesti generátory	Pořadí generátorů	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
		Prislušné tóny	C C ^b	D D ^b E ^b	E F	F ^b G ^b G ⁺	A ^b A	B H	C C ^b	D D ^b	E F	F ^b G ^b	A ^b A	B ^b B
C	Obecná intervalová stavba některých vybraných akordů v oktávovém rozpětí	DUR	X		X		X		X					
		MOLL	X		X		X		X					
		DUR ⁺	X		X		X		X					
		DIM	X		X		X		X					
		DUR ⁶	X		X		X		X					
		DUR ⁷	X		X		X		X					

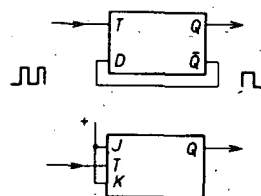
akordy dur² a dur⁷. Jejich realizace čtyřhlá-
sým nástrojem je závislá na poloze vodícího
tónu. Například akord C⁶ zní správně – vodí-
cím tón C je generován prvním, tón E druhým,
G třetím, A čtvrtým generátorem. Je-li vodi-
cím tónem prostřední ze skupiny, odpovída-
jící některému generátoru, je opět realizace
akordu správná. Bude-li však vodícím tónem
poslední z kterékoli skupiny, např. D, žádá se
na čtvrtém generátoru, aby produkoval dva
tóny, A a H, což je nemožné. Požadovaná
sestava akordu D⁶ – D, Fis, A, H je nástrojem
s prioritou vyššího tónu ochuzena na D–Fis–
H. Tím je ovšem narušena potřebná interval-
lová sestava i durové sedmičky a řady jiných
akordů. I když čtyřhlásé nástroje jsou ve
srovnání s jednohlásými bezesporu kvalitněj-
ší, jsou přece jen značně primitivní, což
pozná i neskolenný hudebník po určité době
používání, především při sólové hře. Přesto,
že čtyřhlásé nástroje patří ve své kategorii
k nejrozšířenějším, jsou jejich konstrukce
často doprovázeny zmkinkami o možnosti
rozšíření počtu generátorů až na šest nebo
sedm. Praktické realizace takových nástrojů
se však nevyskytují. Proč? Podle mého názo-
ru jsou základní příčinou problémy se stabili-
zací ladění jednotlivých nespojitých genera-
torů – se zvětšujícím se počtem generátorů se
zvětšuje i stupeň jejich vzájemného rozlada-
vání a tím i riziko falešného zvuku nástroje.
Předpokládejme však, že jsme schopni zajiš-
tit potřebnou stabilitu generátoru. Jaké vý-
hody získáme rozšířením čtyřhlásého systé-
mu na šestigenerátorový? Tímto způsobem,
založeným na rozdělení oktavového intervalu
do šesti skupin, můžeme zpracovat libovol-
nou akordovou sestavu, jejíž jednotlivé in-
tervaly jsou větší jak půltónový krok. Použi-
jeme-li stejně jako v předchozím případě tab.
7, tentokrát díly B a C, můžeme konstatovat,
že všechny uvedené akordy znějí plně, opět
pouze s výjimkou potlačení primy v oktavové
sestavě. Stejně je tomu u ostatních čtyřhlá-
sých akordů, nevyužívající většího než
oktavového rozptěří. Další významnou pře-
dností šestihlásého systému je podstatné
rozšíření možností vázané hry, při níž je
omezení půltónových intervalů v praxi téměř
nezatlelné. Konečně, doplnili-li bychom sy-
stém ještě jedním, sedmým generátorem,
bylo by odstraněno i omezení oktavového
rozptěří. Tento krok však již považují a běž-
ného nástroje za zbytečný luxus. Naopak
systém se šesti generátory můžeme objektiv-
ně hodnotit jako perspektivní pro většinu
amatérských konstrukcí vzhledem k jeho
možnostem a především pro výrazně menší
porizovací náklady ve srovnání s polyfonním
nástrojem.

Lepší varianty vícehlásých nástrojů jsou upravovány pro určitý způsob součinnosti levé a pravé ruky. Některá řešení skutečně výrazným způsobem rozšiřují zvukový projev těchto nástrojů. Neznámější jsou kombi-

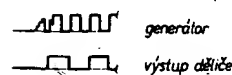
nace vícehlasého a jednohlasého nástroje – každý z nich bývá ovládán jednou rukou, pak může buď levá ruka hrát akordový doprovod a pravá sólo, nebo pravá hraje akordové nebo melodické variace a levá ovládá jednohlasý nástroj jako jakousi elektronickou basu. Obě verze jsou velmi působivé. Existují také nástroje, užívající samostatných nebo kombinovaných vícehlasých nástrojů, přičemž manuál je z elektronického hlediska rozdělen na dvě části. I tato řešení lze amatérsky realizovat; zvláště je-li konstruktérem zručný klavírista. Při požadavku dvou jakostních systémů, do značné míry samostatných, že však v prvním případě konstrukce prodražuje; ve druhém případě je omezena především součinností obou rukou a vyžaduje se navíc poměrně složitá ovládací mechanika (vícenásobný spínací systém každé klávesy). Konstrukteur se tu poprvé v průběhu našeho povídání vlastně dostává k zamyšlení, zda to, co stvoří, dokáže také efektivně ovládat a využívat. Jednotlivými možnostmi využití principu vícehlasých elektronických nástrojů s generátory nespojitého typu se dále budeme zabývat při úvahách o koncepci amatérského nástroje. Nyní si ještě všimneme požadavků, které jsou kladeny na základní obvod těchto nástrojů. I když princip vícehlasých a jednohlasých nástrojů je vlastně tentýž, jsou zcela odlišné především požadavky na řešení základních generátorů – u vícehlasých nástrojů se nesmí vzájemně ovlivňovat, „strhávat“. Generátor nesmí v klidovém stavu (na rozdíl od jednohlasých nástrojů) kmitat v ultrazvukové oblasti. O kmitočtové stabilitě jsme se již zmínovali. Zdůrazňeme ještě jednou, že problém stability je u nespojitých generátorů skutečně závažný a lze ho řešit jen s obtížemi.

Dalším problémem je spolehlivost a nároky na prostor při realizaci kmitočtových děličů. Zatímco se u jednohlaďského nástroje používají děliče obvykle asi se třemi stupni, u vícehláďských je počet stupňů několikrát větší (jednoduchý čtyřhláďský nástroj má obvykle dvanáct stupňů binárních děličů). Proto se i u těchto nástrojů začínají zvolna používat integrované obvody, nejčastěji klopné obvody D nebo J-K (TTL, obr. 31), což výrazně zjednodušuje celou konstrukci. Je paradoxem, že prakticky v celém světě běžné a levné, dnes již relativně jednoduché integrované obvody jsou u nás několikrát dražší, než obvody se stejnou funkcí, postavené z klasických součástek.

Samostatným problémem jsou i u vícehlá-
sých nástrojů klisky. Aby byly potlačeny
klisky od jednotlivých generátorů, měly by
být teoreticky potlačovány klisky u jednotli-
vých stop každého generátoru. Tak např.
čtyřhlásý systém se čtyřmi generátory a třemi
stopami by měl mít dvanáct oddělovačů.
Z důvodů, vypočtených již při rozboru jed-
nohláských nástrojů, jsou obvykle klisky potla-
čovány pouze u dvouhláských nástrojů.



Obr. 31. Využití integrovaných děličů typu D a J-K



Obr. 32. Idealizované potlačení kliků kmítočtovým dělením

čoveny pouze u vyšších stopových signálů. Menší výraznost kliků na nižších stopách vyplývá nejen z nižší kmitočtové polohy, ale také z toho, že značná část kliků výstupu generátoru neprojde na nižší stopy, ať již z důvodu doby trvání nebo nedostatečné strmosti spouštěcí hrany nebo úrovně (viz obr. 32).

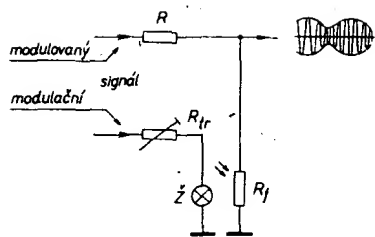
* U vícehlasyých nástrojů se také poprvé setkáváme s možností vázané hry – postupného, překrývaného navazování jednotlivých tónů bez toho, že by mezi nimi muselo docházet k neznějícím, byt kratičkým intervalům, jako je tomu u jednohlasyých nástrojů. U tohoto způsobu hry je kliš, vznikající s nasazením nebo ukončením jednoho ze dvou nebo skupiny dále znějících tónů do značné míry maskován zvukovým obsahem zbývajících tónů. Je-li nástroj opatřen dostatečně kvalitním ovládacím systémem a kvalitními generátory, nabízí se možnost potlačovat klišy pouze na počátku nebo konci prvního nebo posledního tónu z celé vázané skupiny. Za uvedených předpokladů je možno dosáhnout dobrých výsledků i s jediným oddělovačem, zapojeným jako u jednohlasyých nástrojů ve společné cestě výstupního signálu.

Předchozí řádky v žádném případě neměly za cíl zlehčovat problémy s klišy – chtěl jsem pouze zdůraznit, že situace u vícehlásých nástrojů je také z tohoto hlediska pro výsledný hudební dojem příznivější.

Na obr. 30 si ještě povšimneme typického rysu vícehlasých nástrojů, s nímž se budeme dále setkávat také u nástrojů polyfonních a který přinese nejeneden problém. Jednotlivé shodné stopové výšky všech generátorů jsou lineárně slučovány do společné stopy této výšky, a teprve takto zaváděny do rejstříkových filtrů. Důvodem takového uspořádání je princip registrové syntézy – aby bylo možno upravovat zvukové zabarvení v celém rozsahu manuálu, je třeba obsah a charakter stopy společné výšky ovlivňovat jednotně, tedy společně.

Efekty a doplňky vícehlasých nástrojů

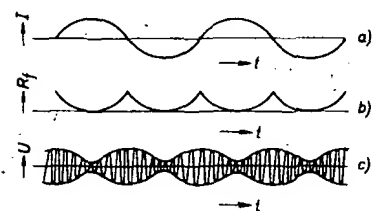
Nejvýraznějším a nejčastějším efektem, užívaným u vícehlasyh nástrojů, je opět vibrato. Některé lepší nástroje bývají doplňovány také tremolem, jehož princip jsme si již popsali. I když je vibrato univerzálnější než tremolo, je tremolo přesto velmi zajímavé. V některých rejstříkových polohách propůjčuje nástroji působivý „vznešený“ charakter. K jeho realizaci, tj. k amplitudové



Obr. 33. Tremolo se žárovkou a fotododporem

modulaci, se nejčastěji používá optoelektronická vazba (obr. 33). Jako budič se nejčastěji používá žárovka s malým příkonem, jejíž vlákno má v rozsahu modulačního kmitočtu (asi 5 až 12 Hz) již značnou tepelnou (a světelnou) setrvačnost. Pro zvětšení linearitu mezi budičím proudem a světelnou intenzitou má vlákno určité stejnosměrné předpětí. Světelná setrvačnost žárovky je velmi vhodná pro potlačení rušivých signálů, jako jsou např. brumy. Proměnná intenzita světla, působícího na snímací prvek (fotodpor) působí diferenciální změny jeho odporu. Také fotodpor má svoji setrvačnost, ve srovnání s žárovkou však mnohem menší. Tato setrvačnost se však uplatňuje pouze při buzení světelným signálem. Nelinearita fotodoporu může být do značné míry kompenzována již uvedeným ss předpětím žárovky vzhledem k maximální požadované hloubce modulace signálu. Z hlediska elektrického vstupního signálu však můžeme fotodpor považovat za zcela lineární a kmitočtové nezávislý prvek (v akustickém rozsahu). Pak je již činnost uspořádání na obr. 33 zcela jasná. Změnami světelné intenzity žárovky výkonově přizpůsobeným modulačním signálem, odebíraným např. z generátoru vibranta, mění se diferenciálně přenosový poměr napětového děliče, jehož jeden prvek je tvořen fotododporem – tím se amplitudově moduluje v rytmu modulačního kmitočtu.

Při hodnocení tohoto způsobu amplitudové modulace jsem si všiml jedné zajímavé možnosti. Modulační signál pro vibrato i tremolo se obvykle odebírá ze stejného generátoru. Optimální kmitočty vibranta (6 až 7 Hz) a tremola (10 až 12 Hz) jsou však přibližně v poměru 1 : 2. Požadavek jednoduchosti často vede k užití pevného modulačního kmitočtu, obvykle optimálně nastaveného pro vibrato. Potom při užití samostatného tremola, nebo kombinace tremolo + vibrato nevyužíváme plně všech možností obou efektů. Optoelektronické vazby lze však využít současně také jako zdvojovače modulačního kmitočtu. Jediným požadavkem je, že modulační signál pro žárovku musí být obecně symetrický podle nulové napětové osy a nesmí být podložen stejnosměrnou složkou. Jednotlivé fáze převodu modulačního kmitočtu na průběh modulační obálky ovládaného signálu jsou na obr. 34. Modulační signál

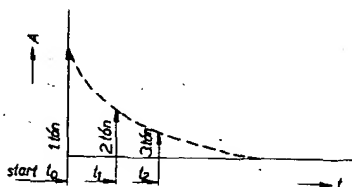


Obr. 34. K využití fotodoporu jako násobiče kmitočtu modulačního signálu

žárovky je znázorněn na obr. 34a. Kdyby vlákno nemělo setrvačnost, odpovídal by průběh kolísání okamžitému odporu fotodoporu (obr. 34b). Ve skutečnosti však ostré špičky, odpovídající zhasínání vlákna, jsou jeho setrvačností výrazně potlačeny. Potom se průběh odporu fotodoporu velmi blíží sinusovému s dvojnásobným opakovacím kmitočtem, jak je patrné i z modulační obálky na obr. 34c. Linearitu modulační obálky je také možno ovlivňovat přidávanými kompenzačními prvky děliče, linearita modulace, která však není nutnou podmínkou, může být upravována i kompenzací průběhu modulačního proudu žárovky.

Principu optoelektronických měničů je možno využívat i při obvodovém řešení další řady efektů nebo ovládacích funkcí. Typickými příklady (u některých vícehlasých nástrojů) jsou aplikace v efektech perkus, sustain nebo regulátor dynamiky.

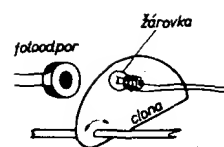
Pojmem perkuse se obvykle označuje úderový charakter tónu, jako sustain bývá označováno pozvolné doznívání tónu. Oba tyto efekty se u nástrojů s nespojitými generátory vyskytují pouze jako nepřesné obměny efektů klasických. U obou se využívá časově omezeného působení na přenosový poměr podobného děliče, jaký je znázorněn na obr. 33. Úpravy časového průběhu jednotlivých efektů je možno dosáhnout řadou způsobů, například vybíjením kondenzátorů různé kapacity přes žárovku. Tón zazní ostře, průběh doznívání je ovlivněn především časovou konstantou obvodu. U popisovaných nástrojů je počátek efektu obvykle odvozen od spínací soustavy manuálu. Potom se efekt uplatňuje u každé klávesy plně pouze tehdy, nejsou-li jednotlivé tóny vázány. Při vázané hře jsou jednotlivé složky souzvuku ovlivňovány s časovým průběhem, startovaným prvním ze skupiny zvláštních tónů. Uvědomí-li si hudebník tento fakt (obr. 35), může



Obr. 35. Průběh doznívání tónu a poměry při vázané hře

kombinacemi jednohlasé, vázané a blokové hry vytvářet zajímavé efekty v závislosti na průbězích modulační obálky. Vybavit podobným systémem každý generátor není vhodné, protože při požadavku shodného časového průběhu tónů, vybraných jak z jednoho, tak z více nezávislých generátorů, je třeba konstruovat složité obvody (start-stop, časové průběhy aj.). To zvyšuje náklady neúměrně ke kvalitativní skupině nástroje; naopak tomu původní řešení umožňuje prostou inverzi časového průběhu řídicího napětí ovlivňovat také charakter náběhu jednotlivých nebo prvního ze skupiny tónů. Vzhledem k tomu, že se opět uplatňuje maskování náběhu nebo dokončení tónu dále znějícími tóny, je i tento efekt, napodobující nástup dechových nástrojů, vhodným doplněním vícehlasého nástroje. Oba uvedené efekty jsou někdy řešeny tak, že jejich činnost není odvozena od klaviatury, ale může být samostatně ovládána ve zvoleném okamžiku samostatným ovládacím. Domnívám se, že toto řešení, i když je jednoduché, není vhodné a navíc může být částečně simulováno i ovládním regulátoru dynamiky.

Tím jsme se vlastně dostali k problému plynulé regulace urovně dynamiky nástroje. Tento prvek (pro snadné ovládání nejčastěji řešený jako pedál, ovládaný nohou) je podle mého názoru nejdůležitějším a prakticky



Obr. 36. Bezkontaktní regulátor dynamiky

nepostradatelným doplňkem každého nástroje. Je to logické, neboť umožňuje přizpůsobit akustický projev požadavkům skladby, a to velmi jednoduchým způsobem. Je s podivem, že u mnohých konstrukcí vůbec chybí. Nejběžnějším a nejjednodušším řešením je vhodná úprava obyčejného potenciometru pro ovládání nohou. Hlavním nedostatkem bývá časté poškození odporové dráhy nadměrným používáním a s tím spojené „chrastění“ v hudebním signálu. Často se reguluje dynamika nepřímo – výkonovým reostatem je ovládán proud žárovkou, ke které je pro potlačení chrastění paralelně připojen filtrační kondenzátor. Takto ovládaná světelná intenzita teprve působí na snímací prvek, fotodpor. Podobná komplikovaná řešení bývají zdůvodňována požadavkem širokého regulačního rozsahu.

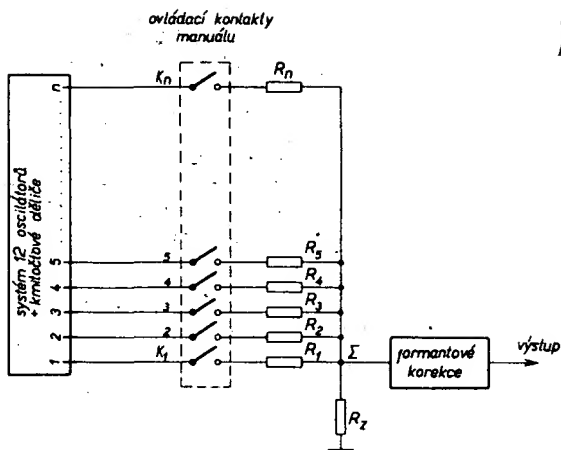
Podle mých zkušeností považuji za naprosto vyhovující rovněž princip optoelektronického regulátoru, avšak s bezkontaktní regulací. Intenzitu osvětlení fotodoporu v tomto případě neovlivňuje změna proudu žárovkou, ale postupné začlenění světelného paprsku pohyblivou kulisou (obr. 36). Vhodným tvarem clony je možno snadno dosáhnout požadovaného průběhu regulace v závislosti na natočení clony. Samozřejmě, že celý systém musí být umístěn v dokonale tmavém prostoru. Dosažitelný regulační rozsah bez jakýchkoli zvláštních opatření je 30 až 40 dB. Regulace je absolutně čistá, bez jakýchkoli šelestů. Regulátor by však měl (vzhledem k co největšímu odstupu signálu od šumu a hluků) zpracovávat signál s co největší úrovní, měl by být zařazen tedy až před koncovým zesilovačem. Pak se ovšem někdy mohou projevit potíže s potřebným minimálním odporem fotodoporu, zvláště tehdy, chceme-li pedál odpojit bez narušení funkce nástroje.

Polyfonní (plnohlasé) nástroje

Některé konfigurace nástrojů z předchozí skupiny se svými vlastnostmi a možnostmi použití již blíží nástrojům polyfonním, které jsou lidově častěji nazývány „elektronické varhany“. Také tato třetí skupina zahrnuje kvalitativně široký obor nástrojů – od relativně jednoduchých po několikamanuálové „strojovny“ s bohatým vybavením a obvykle neméně bohatým příslušenstvím. Všechny polyfonní nástroje však mají jedno společné – po stisknutí každé klávesy je kdykoli a za jakýchkoli okolností systém schopen okamžitě generovat příslušný tón. Generátory (oscilátory) těchto nástrojů jsou, až na nepatrné výjimky, řešeny jako stabilní a nepřetržitě kmitající.

Již v kapitole o vícehlasých nástrojích jsme uvažovali systém, který by měl tolik základních generátorů, kolik je kláves na manuálu. Například čtyřoktávový nástroj by měl 48 generátorů a stejný počet dělicích řetězců, aby bylo možno zpracovat jednotlivé tóny v rejstříkových obvodech. Toto řešení by ovšem bylo mimořádně drahé, prostorové a technicky náročné.

Většina polyfonních nástrojů užívá výhod temperovaného ladění, u kterého můžeme v každém případě považovat oktávový interval libovolného tónu rovný přesně poměru 2 : 1. To je samozřejmě užitečné, protože potom stačí pouze 12 základních generátorů



Obr. 37. Možný princip jednostopého nástroje

vybaven kaskádou děličů, jejichž počet n je možno určit jako

$$n = A + B - 2$$

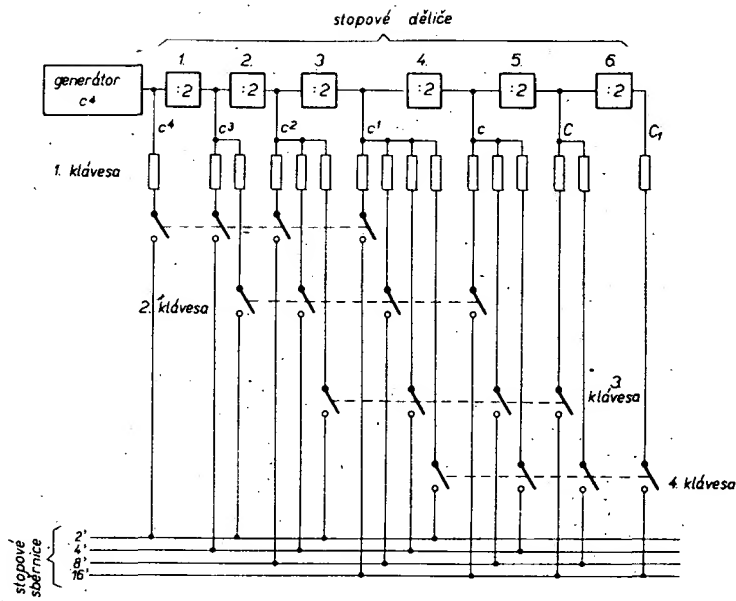
za předpokladu, že nejvyšší stopa je odebrána přímo ze základního generátoru, jak je obvyklé. V rovnici je A počet oktáv, B počet stop nástroje. Vidíme, že pro uvažovaný příklad potřebujeme šestistupňový dělič pro úplnou realizaci všech tónů stejného názvu, při zredukování počtu stop na tři musí mít kaskáda pět stupňů atd. Celkový potřebný počet děličů pro dříve uvažovaný případ je tedy $12 \times 6 = 72$ kusů. Je to jistě výrazné omezení ve srovnání s jednoduchým spínacím systémem, přesto je však počet děličů

laděných na tóny nejvyšší oktávy. Signály, odpovídající všem nižším tónům, které v předchozím případě vytvářelo zbývajících 36 generátorů, nahradíme prostým binárním dělením ve dvanácti větvích, kde vstupní signály, tvoří jednotlivé tóny nejvyšší oktávy. Tento systém jsme si znázornili již dříve (obr. 28). Kdyby byl realizovaný nástroj jednostopý, pak bychom mohli jednotlivé požadované tóny vybírat jednoduchými klávesovými spínači (obr. 37). V symbolickém schématu na obr. 37 chybí ovšem obvody pro potlačení kliků (ty zde vznikají jako důsledek náhodného ovládání kláves a zakmitávání kontaktů). Výsledný signál by tedy byl tvořen lineární směsí právě zúčastněných tónů. Stejně jednoduché ovládání by bylo možné použít tehdy, když bychom sice využívali předností uvedené kmitočtové ústředny, ale kdyby každá klávesa byla vybavena vlastním systémem děličů pro tvorbu příslušných stopových výšek (obr. 38). Potřebný počet děličích stupňů by v tomto případě dosahoval několika set.

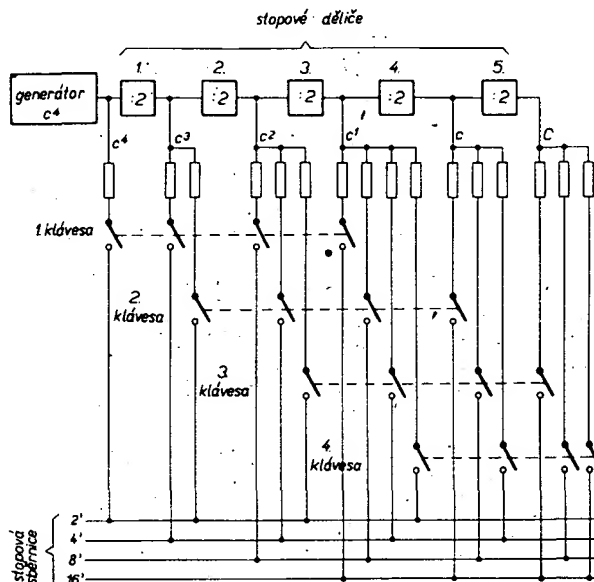
Pro ekonomické využití nesporných výhod systému se stabilními generátory (především velká stabilita, přeladitelnost, možnost sériové výroby a jiné) je však v každém případě nutno výrazně omezit potřebný počet stopových děličů. Problém je u těchto nástrojů v zásadě řešen složitějším ovládacím systémem. Každá klávesa polyfonního nástroje je opatřena vícenásobnými oddělenými kontakty.

Princip činnosti při tomto úsporném ovládání tónů si znázorníme na jednom tónu v různých oktávách (například tónu C). Každá klávesa nástroje ovládá tolik párů spínacích kontaktů, kolik stop má nástroj. Předpokládáme nástroj se čtyřmi stopami (obr. 39). Tento systém plně respektuje oktávový poměr jednotlivých zúčastněných stop – základní opakovací kmitočty jsou u každé klávesy v poměru 8 : 4 : 2 : 1. U nástroje s rozsahem čtyř oktáv je tedy kombinace, počínaje nejvyšší klávesou c, uspořádáním sítě následující – $c^4 c^3 c^2 c^1 - c^3 c^2 c^1 c - c^2 c^1 c C - c^1 c C C_1$.

Z uvedeného výkladu pro jeden tón z obr. 39 je zřejmé, že pro takto vytvářené signály stopových výšek musí být každý generátor

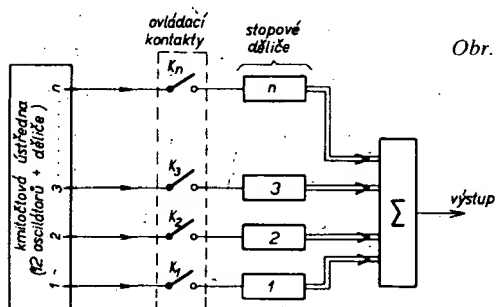


Obr. 39. Příklad úpravy mechanické sběrnice (je uvažován jeden tón ve čtyřech oktávách)

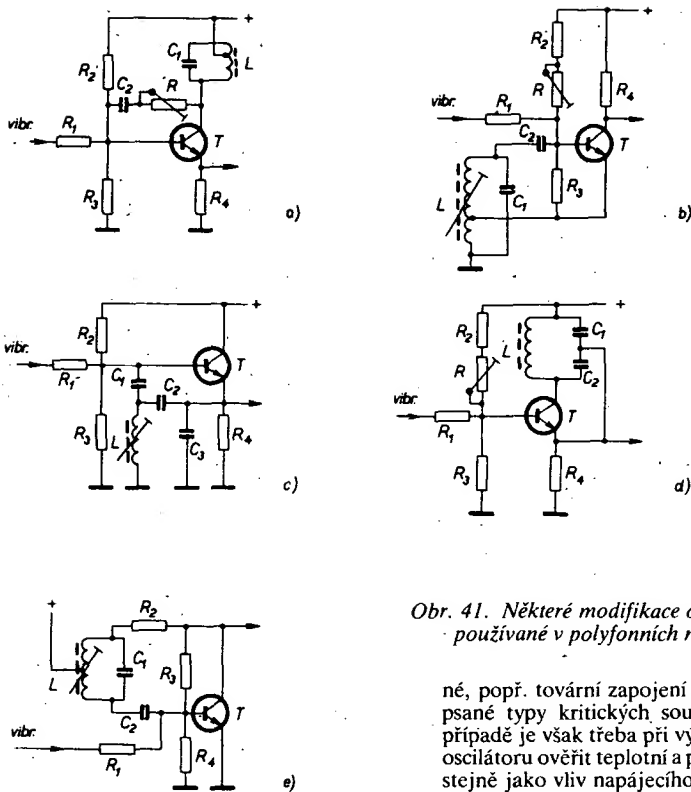


Obr. 40. Příklad z možných úsporných úprav (ve srovnání s obr. 39 je v řetězu každého generátoru ušetřen jeden děličí stupeň)

stále značný. Proto se u většiny nástrojů sídli obsah některých oktáv, zpravidla nejnižší (nebo i nejvyšší) o jednu stopu. Příklad takového řešení je na obr. 40. Zde je, ve



Obr. 38. Jednoduché ovládání nástroje se samostatným stopovým děličem každé klávesy

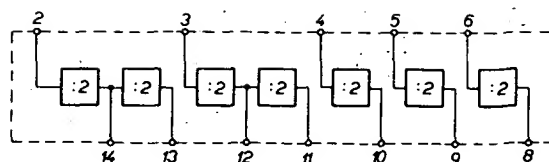


Obr. 41. Některé modifikace oscilátorů LC, používané v polyfonních nástrojích

srovnání se stejným případem na obr. 39, nahrazena nejnižší stopa 16' spodní klávesy stopou 8', takže nejnižší klávesa má nyní sestavu - c'eCC. Tímto způsobem je počet potřebných děličů redukován tak, že v každém řetězu odpadá jeden stupeň a potřebný počet děličů je tedy $n = 60$. I když je naznačené řešení jisté (vzhledem k charakteru a způsobu užívání okrajových tónů nástroje) přípustné, přesto je potřebný počet děličů stále značný. V posledních letech se proto zvláště u polyfonních nástrojů využívá stále větší měrou integrovaných obvodů, často speciálně konstruovaných pro tyto účely.

Vraťme se nyní k řešení základních generátorů polyfonních nástrojů. Jejich velkou předností je stabilita, ustálená činnost, umožňující aplikovat poměrně jednoduchá zapojení s velkou kmitočtovou stabilitou. Při návrhu generátoru musíme uvažovat především vliv teploty, vlhkosti, stability mechanické konstrukce a použitých prvků, zvláště z hlediska dlouhodobého používání.

K dosažení potřebné stability se nejčastěji používají různé modifikace oscilátorů LC, astabilních multivibrátorů se stabilizací rezonančního kmitočtu obvodem LC, výjimečně i generátorů s ladičkami atd. U oscilátorů LC platí zásada, že stabilita je největší při harmonickém průběhu výstupního signálu, tedy při jeho minimálním zkreslení. Tomu odpovídá požadavek minimálního tlumení obvodu LC, volná vazba aktivního prvku. K dalším nejdůležitějším zásadám patří respektování vzájemné teplotní kompenzace cívky a kondenzátoru rezonančního obvodu. Dobrých výsledků, také vzhledem k dlouhodobé stabilitě, se dosahuje s práškovými hrnčikovými jádry robustnějšího typu a terylenovými nebo polystyrenovými kondenzátory. Toto uspořádání také umožňuje snadno nastavit oscilační kmitočet dolaďovacím jádrem. Pro amatérské konstrukce se často používají i cívky na jádrech z transformátorových plechů. Zcela nevhodná jsou pro generátory jádra feritová, především pro výrazné a nevratné teplotní změny permeability. Při realizaci nástroje se doporučuje použít osvědče-

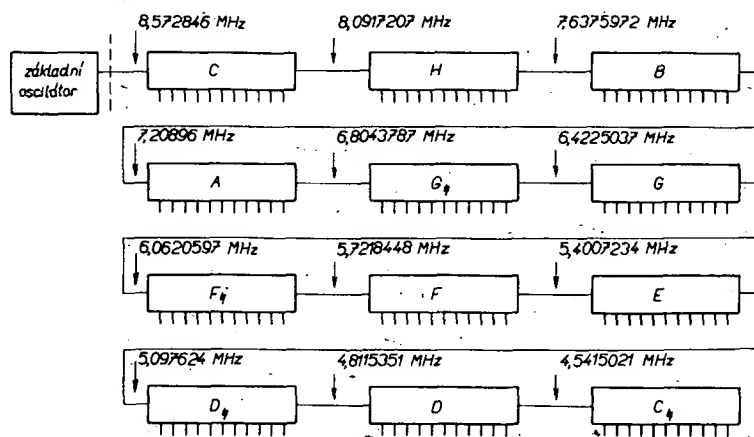


Obr. 42. Univerzální dělič SAJ110 a jeho vnitřní logické schéma (pouzdro je typu DIL)

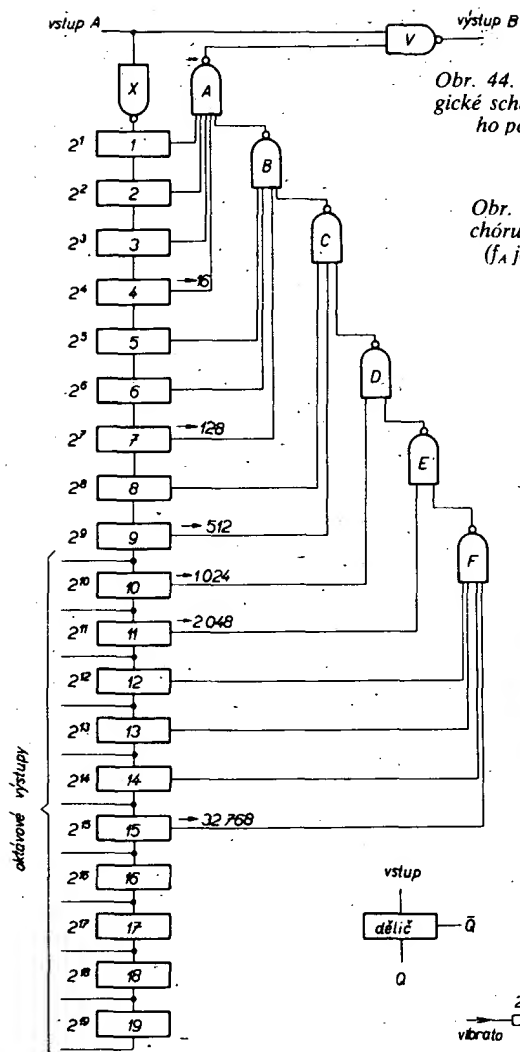
me si nyní příklad univerzálního děliče pro hudební nástroje, jaké se vyskytují v malých obměnách v nástrojích většiny světových výrobců. Obvod na obr. 42 je výrobkem firmy Philips, má typové označení SAJ110 a je realizován bipolární technologií. Skládá se ze sedmi stupňů, rozdělených do skupin 2, 2, 1, 1 a 1. Jednotlivé skupiny mohou být libovolně propojovány, nebo mohou pracovat zcela nezávisle. Vhodným propojením vývodů pouzdra je možno operativně přizpůsobit obvod konkrétnímu použití, malá výstupní impedance zaručuje dokonalý vzájemný odstup jednotlivých signálů. V našich podmínkách nezbude, než se orientovat na děliče z řady MH (7472, 7474, 7493), což by pro amatérskou aplikaci byla schůdná cesta, ovšem pouze za předpokladu, že by se výrazně snížily jejich maloobchodní ceny.

Dosud uváděný (v podstatě analogový) systém autonomního generování základních tónů není však jediný ani nejlepší. Toto dlouhá léta bezkonkurenční řešení je v poslední době pomalu, ale jistě vytlačováno systémy digitálními, u nichž jsou všechny potřebné tóny oktávového intervalu odvozovány z jediného signálu, z jediného generátoru. Využívá se číslicové techniky, jejíž předností je (při stabilním a přesném generátoru) stabilita výšky všech tónů. Američtí výrobci např. odvozují oktávu zpravidla z jednoho nebo dvou pouzder speciálních obvodů, základní kmitočet je kolem dvou MHz, často je stabilizován krystalem. Podle mého názoru je ještě lepší a promyšlenější je prototypový systém Philips - úplný komplex všech tónů a stopových výšek, potřebných pro registrovou syntézu je digitálně vytvářen ve dvanácti pouzdech speciálních integrovaných obvodů. Popisem tohoto systému jsem se zabýval poměrně podrobně v [19]. Proto si nyní povšimneme pouze základního principu a možnosti použití.

K vytvoření všech dvanácti tónů oktávy a v tomto případě současně i tónů všech oktáv se využívá dvanácti zcela shodných integrovaných obvodů. Tyto obvody se zařazují do kaskády, jeden za druhým (obr. 43). Každý obvod má z tohoto hlediska jeden vstup a jeden výstup. První obvod kaskády je

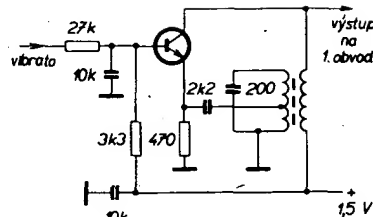
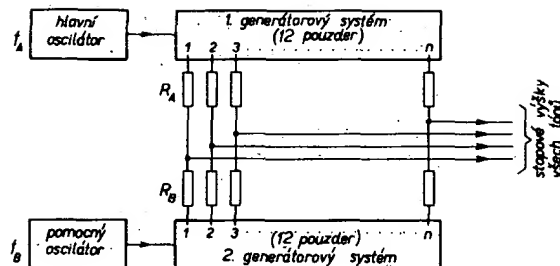


Obr. 43. Blokové schéma systému, generující stupnici temperovaného ladění



Obr. 44. Vnitřní logické schéma jednoho pouzdra

Obr. 46. Tvorba chórusového efektu (f_A je různý od f_B)



Obr. 45. Základní vf generátor

zapojen na externí generátor opakovacího kmitočtu asi 8,57 MHz. Každý obvod vytváří budící signál pro následující obvod postupným „vypouštěním“ potřebného počtu impulsů v definovaném cyklu; pro konečné vytvoření akustického výstupního signálu se používá jakási integrace na principu kaskády binárních děličů. Vnitřní činnost obvodu je tedy pevně programována tak, aby zajistila definovaný poměr počtu výstupních impulsů (svorka B) ke vstupním (svorka A). Tak je, vzhledem k charakteru temperovaného ladění, možno využít univerzální jediného typu obvodu v celé síti. Funkční schéma vnitřní struktury jednoho pouzdra je na obr. 44. Výstupní signál se blokuje kombinační logikou, reagující na okamžitý stav kaskády vyrovnávacích děličů. Vynikajícím výsledkem je algoritmus systému, umožňující aplikovat jednoduché děliče typu 2^n (kde n je celé číslo) bez krácení početního cyklu. To umožňuje použít většinu děličů jak pro řízení logiky úpravy budícího signálu pro další stupeň, tak pro vytváření vlastního symetrického signálu a dělení oktavových stop. Analýzou činnosti vnitřní logiky se zabývat nebudeme, uvedme si pouze její výsledek. Vyplývá ze srovnání ideálního půltónového kroku temperovaného ladění s algoritmem, užitým v logice každého obvodu: je možno stanovit kmitočtovou odchylku jednoho stupně $\Delta f = 4,091 \cdot 10^{-6}$. Uvažíme-li 12 půltónových kroků potřebných k dosažení oktavového intervalu, můžeme srovnáním ideálního a realizovaného oktavového poměru stanovit celkovou, největší chybu systému, která je $49,095 \cdot 10^{-6}$. To znamená, že přesnost systému je prakticky neměřitelná servisními digitálními měřiči kmitočtu (v akustickém rozsahu). Stejně cenné je i to, že systém

automaticky poskytuje všechny stopové výšky v celém slyšitelném akustickém rozsahu a žádné další děliče není třeba používat.

Celý digitální systém je buzen z jednoduchého vf generátoru, příklad zapojení je na obr. 45. Pro zajímavost: udává se, že stabilita je lepší než 0,1 % při změně napájecího napětí v rozsahu 1,2 až 1,6 V nebo teploty v rozsahu 25 až 55 °C. Oscilátor a tím i výstupní signály všech pouzder je možno kmitočtově modulovat (vibrato). Přeladěním základního oscilátoru je možno snadno při-

nost jednoduše vytvářet chórusový efekt způsobem podle obr. 46; využívá se dvou popsaných systémů, z nichž jeden je mírně rozladěn vůči prvnímu, hlavnímu, jehož tóny odpovídají přesnému ladění. Shodné tóny stejných stopových výšek obou generátorů jsou slučovány jednoduchou odporovou sítí, stupeň efektu lze snadno nastavit mírou vzájemného rozladění obou základních generátorů.

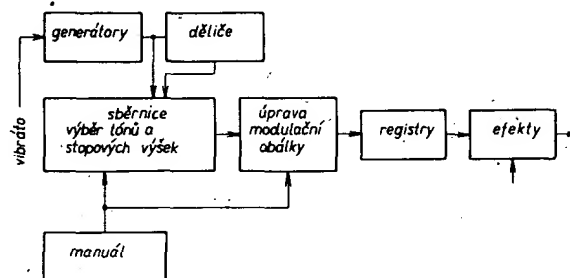
Informace o podobných systémech se jistě mnohým konstruktérům jeví jako krásná pohádka, zvláště domýšlíme-li jejich vliv na zjednodušení a kvalitu nástroje. Nám však nezbyvá, než se znovu vrátit na zem.

Ze základního blokového schématu polyfonního nástroje na obr. 47 vidíme, že jednotlivé tóny se získávají shodně jako v předchozích případech. Princip činnosti je tedy opět jednoduchý, komplikace přináší především množství stále se opakujících obvodů. Již z předchozích náznaků o způsobu zpracování a slučování jednotlivých stop pro registrovou syntézu vyplývá, že se zde setkáváme s jedním konstrukčním prvkem, dosud u žádného nástroje nepoužitým. Je jím způsob výběru stopové kombinace, na blokovém schématu označený jako manipulační sběrnice. Z technologického hlediska se jedná o nejnáročnější díl polyfonního nástroje. Všimněme si proto možnosti, jak řešit sběrnici, poněkud podrobněji.

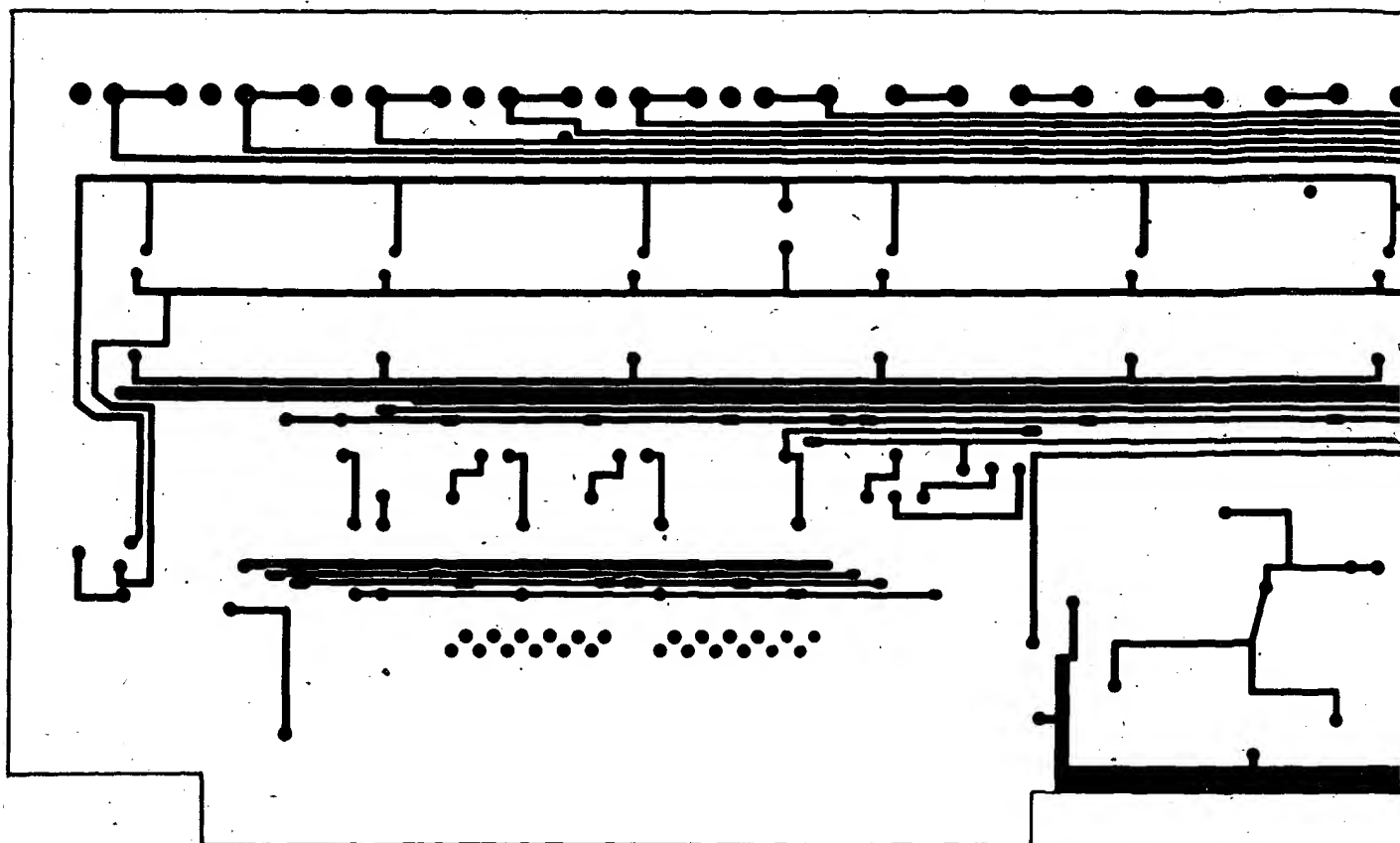
Jedinou možností, jak sloučit stopové výšky, je jejich lineární kompozice. V případě jedno nebo vícehlasých nástrojů jsme s řešením tohoto požadavku neměli žádné problémy, protože byly vždy ovládány základní generátory a jejich stopové výstupy byly navzájem pevně kombinovány. U polyfonního nástroje se však musí tóny jednotlivých kombinací vybírat v zásadě podle obr. 39 nebo 40. Princip kombinace registrové syntézy a mechanické manipulační sběrnice byl poprvé uplatněn u nástroje Minshall a brzy se stal nejrozšířenějším především pro svoji účelnost a efektivnost. Při popisu výběru stopové kombinace naznačeným mechanickým způsobem jsme si všimli, že tato cesta výrazně nepotlačuje kliky ani neovlivňuje průběh modulační obálky. Dalšími nedostatky jsou problémy s dostatečným odstupem rušivých signálů, brumu, přeslechů, „hudebního“ šumu a především se spolehlivostí sběrní.

Mechanicky lze sběrnici v zásadě řešit dvěma způsoby, buď několikanásobným

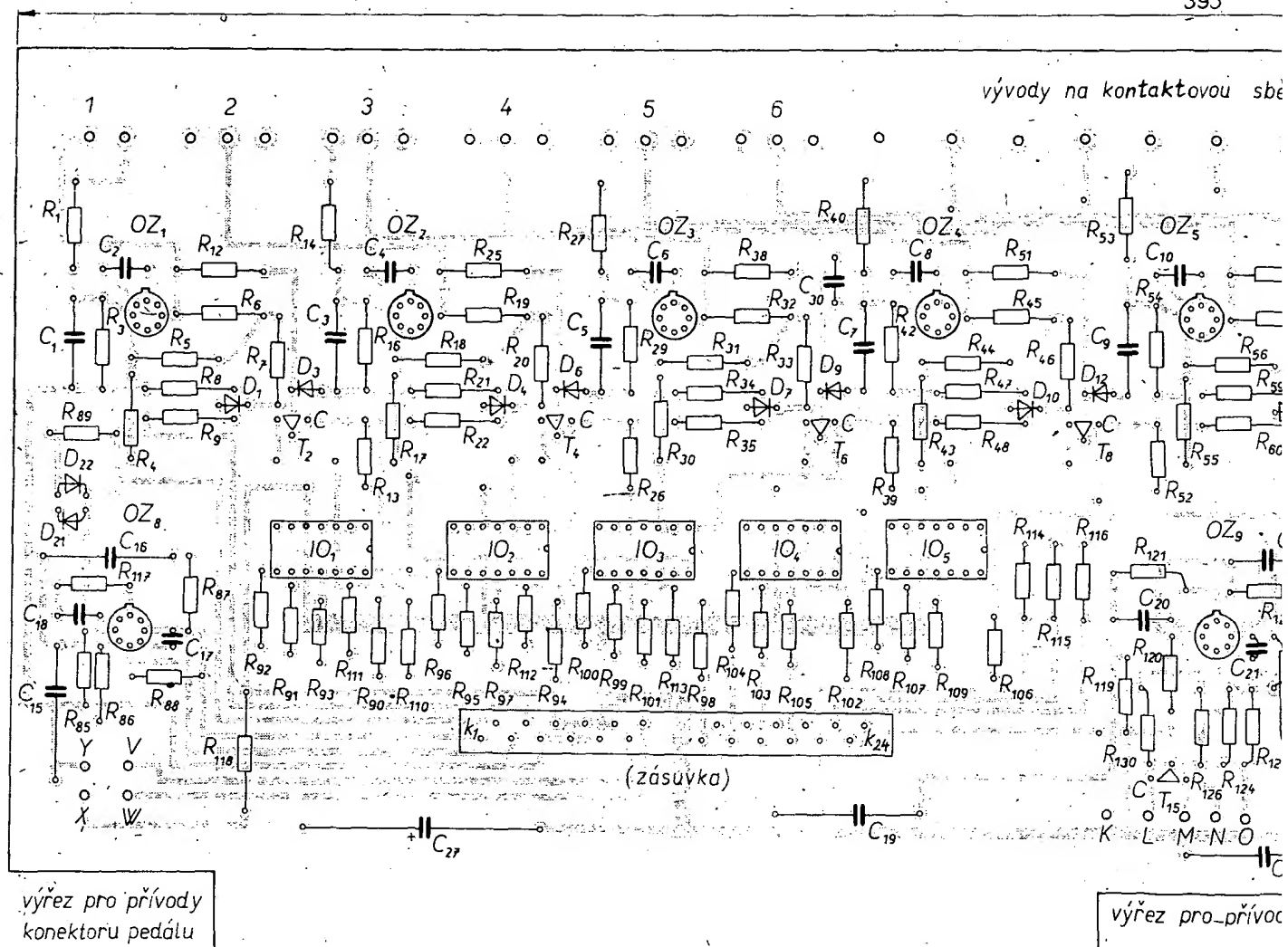
Obr. 47. Funkční schéma polyfonního nástroje



způsobit celý nástroj okamžitým požadavkům při přesném zachování jednotlivých poměrných tónových intervalů. Z řady dalších aplikací uvedme nejzajímavější – mož-



395



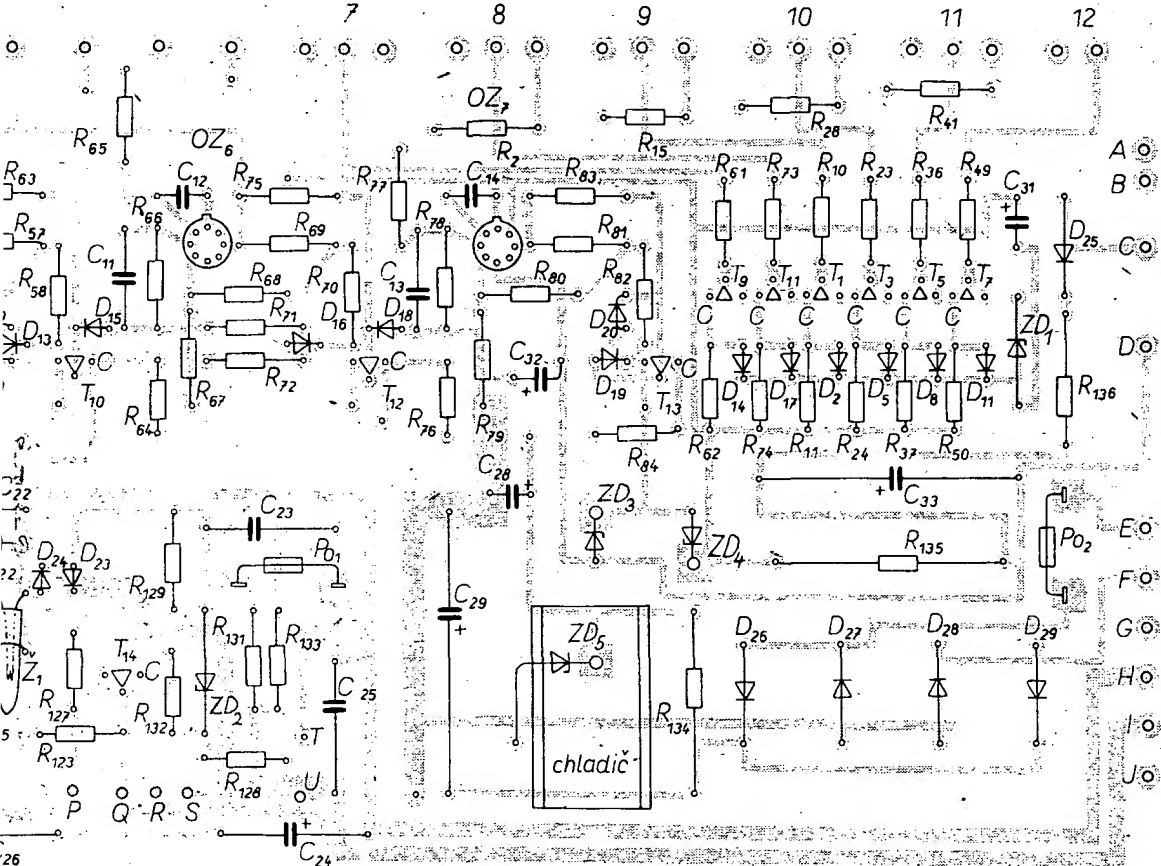
Seznam součástek

Odpory (TR 152, není-li uvedeno jinak)

R ₁	82 kΩ	R ₃₈	22 kΩ
R ₂	0,18 MΩ	R ₃₉	8,2 kΩ, TR 112a
R ₃	1 MΩ	R ₄₀	0,12 MΩ
R ₄	18 kΩ	R ₄₁	0,39 MΩ
R ₅	0,1 MΩ	R ₄₂	1 MΩ
R ₆	18 kΩ	R ₄₃	18 kΩ
R ₇	39 kΩ	R ₄₄	0,1 MΩ
R ₈	680 Ω	R ₄₅	18 kΩ
R ₉	5,6 kΩ	R ₄₆	39 kΩ
R ₁₀	27 kΩ, TR 112a	R ₄₇	680 Ω
R ₁₁	12 kΩ, TR 112a	R ₄₈	5,6 kΩ
R ₁₂	22 kΩ	R ₄₉	27 kΩ, TR 112a
R ₁₃	8,2 kΩ, TR 112a	R ₅₀	12 kΩ, TR 112a
R ₁₄	0,1 MΩ	R ₅₁	22 kΩ
R ₁₅	0,18 MΩ	R ₅₂	8,2 kΩ, TR 112a
R ₁₆	1 MΩ	R ₅₃	0,15 MΩ
R ₁₇	18 kΩ	R ₅₄	1 MΩ
R ₁₈	0,1 MΩ	R ₅₅	18 kΩ
R ₁₉	18 kΩ	R ₅₆	0,1 MΩ
R ₂₀	39 kΩ	R ₅₇	18 kΩ
R ₂₁	680 Ω	R ₅₈	39 kΩ
R ₂₂	5,6 kΩ	R ₅₉	680 Ω
R ₂₃	27 kΩ, TR 112a	R ₆₀	5,6 kΩ
R ₂₄	12 kΩ, TR 112a	R ₆₁	27 kΩ, TR 112a
R ₂₅	22 kΩ	R ₆₂	12 kΩ, TR 112a
R ₂₆	8,2 kΩ, TR 112a	R ₆₃	22 kΩ
R ₂₇	0,12 MΩ	R ₆₄	8,2 kΩ, TR 112a
R ₂₈	0,33 MΩ	R ₆₅	0,18 MΩ
R ₂₉	1 MΩ	R ₆₆	1 MΩ
R ₃₀	18 kΩ	R ₆₇	18 kΩ
R ₃₁	0,1 MΩ	R ₆₈	0,1 MΩ
R ₃₂	18 kΩ	R ₆₉	18 kΩ
R ₃₃	39 kΩ	R ₇₀	39 kΩ
R ₃₄	680 Ω	R ₇₁	680 Ω
R ₃₅	5,6 kΩ	R ₇₂	5,6 kΩ
R ₃₆	27 kΩ, TR 112a	R ₇₃	27 kΩ, TR 112a
R ₃₇	12 kΩ, TR 112a	R ₇₄	12 kΩ, TR 112a

R ₇₅	22 kΩ
R ₇₆	8,2 kΩ, TR 112a
R ₇₇	82 kΩ
R ₇₈	1 MΩ
R ₇₉	18 kΩ
R ₈₀	0,1 MΩ
R ₈₁	18 kΩ
R ₈₂	39 kΩ
R ₈₃	22 kΩ
R ₈₄	8,2 kΩ, TR 112a
R ₈₅	82 kΩ
R ₈₆	0,1 MΩ
R ₈₇	0,1 MΩ
R ₈₈	0,22 MΩ
R ₈₉	82 kΩ
R ₉₀ až R ₁₁₃	0,12 MΩ, TR 112a
R ₁₁₄ až R ₁₁₆	56 kΩ, TR 112a
R ₁₁₇	1,5 kΩ, TR 112a
R ₁₁₈	12 Ω, TR 144
R ₁₁₉	47 kΩ, TR 112a
R ₁₂₀	18 kΩ, TR 112a
R ₁₂₁	1,5 kΩ, TR 112a
R ₁₂₂	0,22 MΩ, TR 112a
R ₁₂₃	22 kΩ, TR 112a
R ₁₂₄	18 kΩ, TR 112a
R ₁₂₅	výběrový, TR 112a
R ₁₂₆	15 kΩ, TR 112a
R ₁₂₇	680 Ω
R ₁₂₈	15 kΩ, TR 112a
R ₁₂₉	0,3 Ω, vinutý
R ₁₃₀	680 Ω
R ₁₃₁	680 Ω
R ₁₃₂	5,6 kΩ, TR 112a
R ₁₃₃	18 Ω, TR 144
R ₁₃₄	15 Ω, TR 507
R ₁₃₅	150 Ω, TR 154
R ₁₃₆	27 Ω, TR 144
R ₁₃₇	4,7 kΩ, TR 112a
R ₁₃₈	4,7 kΩ, TR 112a
R ₁₃₉	56 kΩ, TR 112a
R ₁₄₀	56 kΩ, TR 112a
R ₁₄₁	33 kΩ, TR 112a
R ₁₄₂	1 kΩ, TR 112a
R ₁₄₃	2,2 kΩ, TR 112a
R ₁₄₄	2,2 kΩ, TR 112a
R ₁₄₅	0,1 MΩ, TR 112a
R ₁₄₆	výběr, TR 112a
R ₁₄₇	0,15 MΩ, TR 112a
R ₁₄₈	10 kΩ, TR 112a
R ₁₄₉	22 kΩ, TR 112a
R ₁₅₀	47 Ω, TR 112a

číslici



ly výstupu a tranzistorů T₁₆ až T₁₈

R_{151}	680 Ω , TR 112a
R_{152}	0,18 M Ω , TR 112a
R_{153}	0,1 M Ω , TR 112a
R_{154}	39 k Ω , TR 112a
R_{155}	3,3 k Ω , TR 112a
R_{156}	3,3 k Ω , TR 112a
R_{157}	47 k Ω , TR 112a
R_{158}	3,3 k Ω , TR 112a
R_{159}	0,1 M Ω , TR 112a
R_{160} až R_{166}	5,6 k Ω , TR 112a
R_{167}	100 Ω
R_{168}	0,39 M Ω , TR 112a
R_{169}	68 k Ω , TR 112a
R_{170}	56 k Ω , TR 112a
R_{171}	27 Ω , TR 112a
R_{172}	390 Ω , TR 112a
R_{173}	1,5 k Ω , TR 112a

Ladící odpory melodické a basové části – výběrové kombinace R_a , R_b (64 + 24 ks) TR 152, viz text

Kondenzátory

C_1 , C_2 , C_3 , C_4	10 nF (Remix)
C_5 , C_{12} , C_{14}	39 pF, TC 210
C_{13}	47 nF, TC 235
C_{15} , C_{16}	0,22 μ F, TC 180
C_{17}	220 pF, TC 210
C_{18}	10 nF, TK 750
C_{19}	1 μ F, TC 180
C_{20}	470 pF, TK 339
C_{21}	18 pF, TK 722
C_{22}	39 pF, TK 722
C_{23}	0,33 μ F, TC 180
C_{24}	100 μ F, TE 986
C_{25} , C_{26}	0,15 μ F, TC 180
C_{27}	2000 μ F, TE 981
C_{28}	100 μ F, TE 003
C_{29}	1000 μ F, TE 984
C_{30}	0,1 μ F, TK 750
C_{31} , C_{32}	20 μ F, TE 004
C_{33}	200 μ F, TE 988
C_{34}	1 μ F, TC 180
C_{35}	22 nF, TK 750
C_{36}	0,68 μ F, TC 180
C_{37}	20 μ F, TE 981
C_{38} , C_{39}	50 μ F, TE 004
C_{40}	0,1 μ F, TC 180
C_{41}	50 μ F, TE 004
C_{42}	100 μ F, TE 981
C_{43}	22 nF, TC 235
C_{44}	47 nF, TK 750
C_{45} , C_{46}	20 μ F, TE 005
C_{47}	20 μ F, TE 992
C_{48}	200 μ F, TE 988
C_{49} , C_{50}	2200 μ F/35 V (TE 676)
C_{51}	15 nF, TC 235
C_{52} , C_{55} , C_{58}	33 nF, TC 182
C_{53} , C_{57}	68 nF, TC 181
C_{54}	0,15 μ F, TC 180
C_{56}	47 nF, TC 181

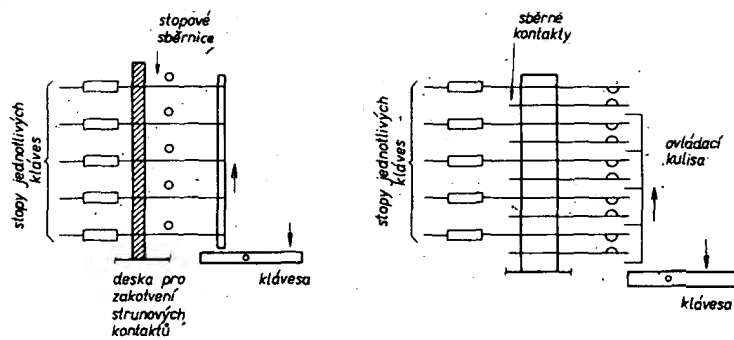
Polovodičové prvky

OZ1 až OZ6	MAA504 (MAA501, MAA502)
IO1 až IO3	MH7493
IO4	MAA125 (MAA145)
T1 až T13	KC507 (KC147)
T14	KF507
T15	KF517
T16	KC147
T17, T18	KD601
T19	KF520
T20 až T23	KC507 (KC147)
D1 až D24	KA501
D25	KY705
D26 až D29	KY701
D30 až D33	KY708
D34, D35	KY130/150
ZD1, ZD2	KZ721
ZD3, ZD4	výběr ze 6N270
ZD5	výběr ze 1N270

Ostatní součástky

tahové potenciometry P_1 až P_4 10 k Ω /G, TP 601
jednoduchá tlačítka s aretací (Isostat) K_1 až K_{17}
propojovací konektor; vidlice WK 462 01, zásuvka
WK 462 02

Z_1	12 V/50 mA		
Z_2	20 V/100 mA (barevná, z vánočního stromku)		
P_{01}	1,5 A	P_{02} , P_{04}	1 A
P_{02}	0,4 A	P_{05}	0,2 A



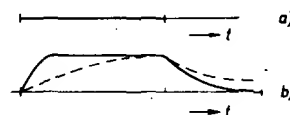
Obr. 48. Nejčastější řešení mechanické sběrnice

svazkem kontaktů (např. z relé), umístěným nad klávesou a ovládaným jejím zdvihem, nebo lze využít bodového doteku pružných drátových kontaktů, ovládaných rovněž pohybem klávesy, s tvrdě pokovenými, pevně nataženými strunami, tvořícími jednotlivé stopové sběrnice (obr. 48). Kliky lze částečně odstranit dolními propustmi, omezujícími spektrum rušivých jevů. Je to řešení sice levné, ale nedokonalé. Na druhé straně je třeba přiznat, že kliky jsou ve srovnání s vícehlasnými nástroji méně výrazné vzhledem k jejich maskování v důsledku součinnosti pravé a levé ruky. Úroveň hluků a přeslechů se často omezuje změnami přívodů „nehrajících signálů“ dalším kontaktem. Také některé užívané trikové efekty bývají obvykle ovládané prostřednictvím sběrnice. Velmi často je sběrna podélně dělená, což umožňuje buď vyrovnat hlasitosti jednotlivých tónů v celém rozsahu manuálu, nebo naopak zvětšit hlasitost tónů, hraných levou rukou, či rozdílně zvukově zabarvit melodické a doprovodné části skladby atd. Těmito problémy se pro jejich jednoduchost zabývat nebudeme.

Přes řadu uvedených nedostatků se mechanická sběrna dosud užívá nejčastěji, především proto, že umožňuje relativně levnou konstrukci polyfonního nástroje. Jako příklad uvedme systém, popsáný v [15], kde autor dokázal realizovat 4 1/2 oktávový nástroj se třemi stopami s pouhými 74 tranzistory (bez úrovněvého a výkonového zesilovače). Pronikavého omezení počtu aktivních prvků se v podobných konstrukcích dosahuje jednotranzistorovými děliči, které ovšem vyžadují minimálně stejný zástavbový prostor jako klasické. Úspora ceny je přitom problematická a na rozdíl od klasických vyžadují nastavit děliči režim pro potřebný kmitočtový rozsah. Přesto se podobná řešení užívají i u profesionálních výrobků, příkladem může být nástroj Matador (NDR), který má rozsah 5 oktáv a je osazen 80 tranzistory. První z uvedených konstrukcí využívá kmitočtové závislého děliče RC, druhá synchronizované blokovacího oscilátoru. Matador současně může posloužit jako příklad často užívaného způsobu ovlivňování časového průběhu obálky a do značného rozsahu i kliků u systému s mechanickou sběrnicí, který je založen na možnosti ovlivňovat dynamiku hraného tónu a tím i úroveň kliku velikostí tlaku prstu na klávesu. Ovládací kontakty jsou nejčastěji řešeny jako několik kluzných kontaktů, postupně dosedajících na odporovou snímací vrstvu. Princip činnosti takto upraveného kontaktu připomíná tedy do určité míry činnost potenciometru. Toto řešení bylo u řady firem dovedeno do značného stupně dokonalosti. Nástroje vybavené podobným ovládacím zařízením mohou být skutečně velmi kvalitní. Amatérská realizace takové sběrnice, má-li být dostatečně a dlouhodobě spolehlivá, však podle mého názoru nemá v běžných podmínkách naději na úspěch. Toho si jsou velmi dobře vědomi i profesionální výrobci nástrojů vyšších tříd, kteří

usilují buď o bezkontaktní ovládání sběrnice, nebo ji řeší elektronicky.

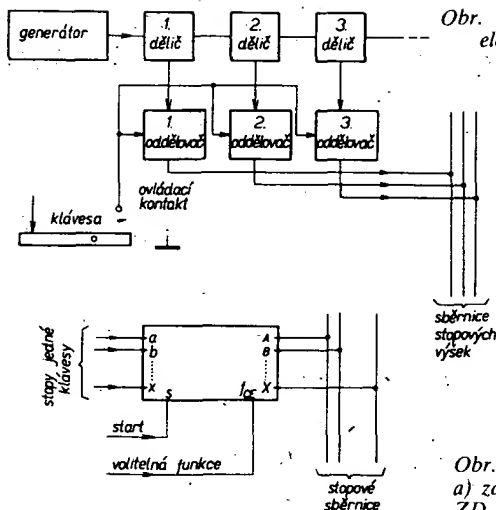
Můžeme snadno nahlédnout, že většina problémů, jimiž jsme se zabývali, by mohla být účinně odstraněna, kdyby se u nástroje používaly oddělovače kliků. Pro čtyřoktávový čtyřstopový nástroj by to vyžadovalo 192 oddělovačů s odpovídajícím počtem součástí. U polyfonních nástrojů může být volbou časové konstanty oddělovače na rozdíl od jednohlasného systému ovlivňován časový průběh obálky v širokých mezích (obr. 49).



Obr. 49. Podmínky činnosti oddělovače u polyfonního nástroje; a) interval stisku klávesy, b) časový průběh modulační obálky při použití oddělovače je vzhledem ke stále pracujícím generátorům teoreticky neomezený

U polyfonních nástrojů se kromě oktávových stopových výšek často ovlivňuje zvukové zabarvení i jinými stopovými složkami, ve srovnání se základní stopou cyklickými, které jsou ve vztahu k signálu v konsonantním poměru. Nejčastěji je užíván registr tercián (2 2/3') nebo kvinta (1 4/5'). Důvod, proč se tyto složky užívají především u polyfonních nástrojů, je zřejmý – u systému se stále pracujícími generátory jsou prostě kdykoli k dispozici. Např. tercii pro tón C tvoří E, kvintu G. U mechanické sběrnice stačí rozšířit počet kontaktů o další, u systému s oddělovači to znamená další zvětšení počtu oddělovačů. U některých nástrojů vybavených oddělovači se setkáváme se stejným provedením ovládací mechaniky, jaké měla mechanická sběrnice, přesněji se stejným počtem ovládacích kontaktů. Jediným kladem tohoto řešení, nehledě na drobnosti, je to, že zde nejsou kladeny zvláštní požadavky na jakost kontaktů (zakmitávání, přeslechy...). Uvážíme-li však, že jednotlivé stopy jednoho tónu ovládáme současně, je mnohem výhodnější z hlediska konstrukce ovládat všechny oddělovače jedné klávesy jediným kontaktem (obr. 50). Tomuto řešení se říká elektronická sběrnice.

Její hlavní předností je dobrý, navíc větší, volitelný časový průběh každého tónu, dokonalé potlačení kliků a jednoduchá ovládací mechanika. Hlavním požadavkem, kladeným na oddělovač, je především co největší útlum v pasívním režimu. Uvědomíme-li si, že počet aktivních i ostatních součástí potřebných k realizaci elektronické sběrnice představuje (podle vlastností nástroje) asi polovinu až dvě třetiny počtu součástek celého zařízení, je, rázem zřejmé, že toto řešení je možno pro běžnou amatérskou stavbu doporučit pouze s velkými výhradami. V každém případě je nutno, se zaměřit vedle



Obr. 51. Předpoklad možné integrace jednotlivých prvků elektronické sběrnice

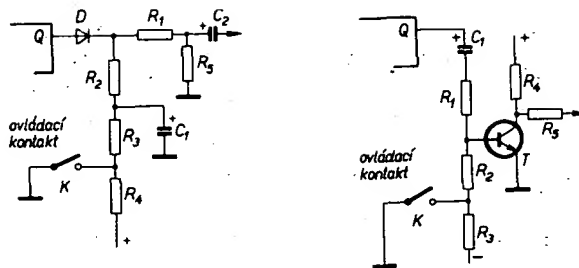
kvalitativních parametrů také na ekonomickou stránku a na minimalizaci počtu součástí pro jednotlivé stopy.

Domnívám se, že se musí vyrábět jednoúčelové integrované obvody, které by umožňovaly přenos digitálních vstupních signálů a, b, \dots, x na stopové výstupy A, B, \dots, X s časovým modulačním průběhem, startovaným signálem S_a ovládaným jedním nebo více signály f_{ce} , ať již úrovnovou nebo kódovou cestou (obr. 51). Ověřil jsem si, že jednoduchému řešení s využitím obvodů s otevřeným kolektorem, regulaci jejich napájecího napětí atd. skutečně nestojí nic v cestě. Bohužel se mi žádné informace o podobných prvcích objevit nepodařilo. Vzhledem k charakteru stopových signálů (pravoúhlý průběh) nemusí být přenosová charakteristika oddělovače lineární – to je základním zjednodušujícím předpokladem pro všechna efektivní řešení.

Známé úpravy oddělovačů, využívající ovládaných diod nebo tranzistorů (obr. 52) jsou charakteristické buď nevhodným rozsahem regulace (přeslechy), nebo relativně velkým počtem rozměrnějších součástí, jako jsou elektrolytické kondenzátory apod.

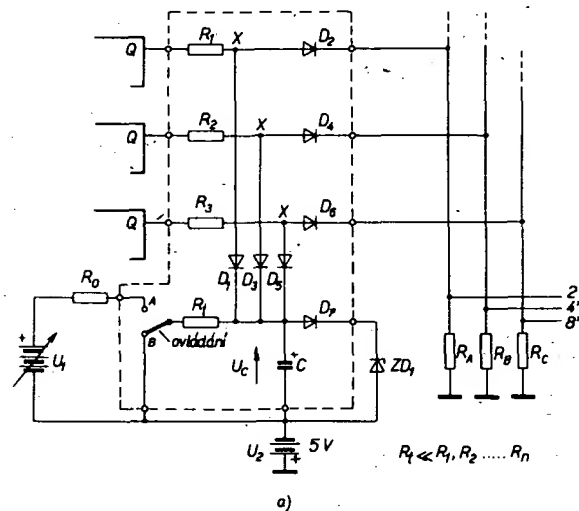
Pokud jde o diody, doporučoval bych vždy pouze křemíkové, s malou kapacitou přechodu, navíc využitě ve dvoufázovém režimu, kdy jedna z diod posouvá úroveň napětí pro otevření nebo zavření hlavní regulační diody a navíc svým minimálním dynamickým odporem v propustném směru omezuje úroveň možných přeslechů oddělovače v pasivním režimu. Schéma ověřeného zapojení je na obr. 53. Při kontaktu přiloženém na svorku B je stupeň pasivní, dioda D_1 je otevřena, díky zdroji záporného napětí U_2 , společnému pro celý nástroj, je v X záporné napětí přibližně -5 V, dioda D_2 je tedy bezpečně uzavřena. Současně je v bodu X činnost D_1 v propustném režimu omezena úrovní impulsního napětí z příslušného děliče na desítky mV. Díky tomu je při zavření D_2 zcela omezen vliv přeslechové kapacity (inverzně polarizovaného přechodu). Přeložením ovládacího kontaktu do polohy A se kondenzátor C nabíjí s časovou konstantou $R_1 C$. Nabíjením kondenzátoru se zvolna zavírá D_1 a signál prochází na stopovou sběrnici. Napětí U_c je omezeno na úroveň napětí společného referenčního bodu, definovaného stabilizační diodou ZD_1 . Při uvolnění klávesy se kondenzátor vybíjí, ale vždy z konstantní napěťové úrovně. Naproti tomu nabíjení je možno ovládat pomocným napětím a tím ovlivňovat časový průběh náběhu tónu. Přitom obvod, určující časové konstanty, je pro všechny stopy klávesy jediný. Další výhodou

Obr. 50. Princip elektronické sběrnice



Obr. 52. Některé z nevhodných úprav oddělovačů

Obr. 53. Diodová sběrnice; a) zdroje U_1 a U_2 a dioda ZD_1 jsou společné pro celý nástroj, b) regulaci zdroje U_1 je možno upravovat tónové náběhy



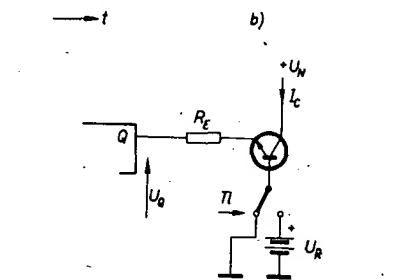
je to, že při ovládání tónu nevznikají přechodové jevy, které často provázejí podobné konstrukce a které je nutno dodatečně potlačovat řadou vazebních kondenzátorů (nehledě k lepším dynamickým vlastnostem). Toto řešení vyžaduje pro každou stopu jeden odpor a dvě diody, nebo přesněji, pro jednu klávesu se třemi stopami sedm diod, čtyři odpory a elektrolytický kondenzátor (obr. 53).

Kvalitní zapojení by bylo možno realizovat také s invertory s otevřeným kolektorem, ovládanými v kolektorovém obvodu. Bohužel, k zavírání výstupního tranzistoru v pasivním režimu vzhledem k trvalému připojení na stopovou sběrnici by bylo nutno použít oddělovací diody, což je již nevýhodné.

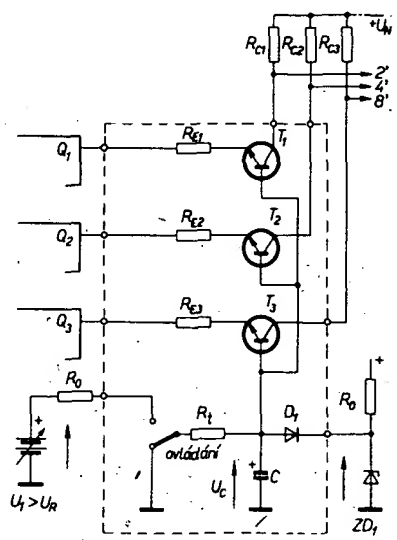
Zajímavá jsou řešení oddělovačů s tranzistory, pracujícími ve funkci řízeného proudového zdroje. Princip činnosti je na obr. 54. V pasivním režimu je tranzistor uzavřen nulovým napětím báze. Po stisku klávesy teče tranzistorem proud, úměrný

$$I_c \approx (U_k - U_0) / R_E$$

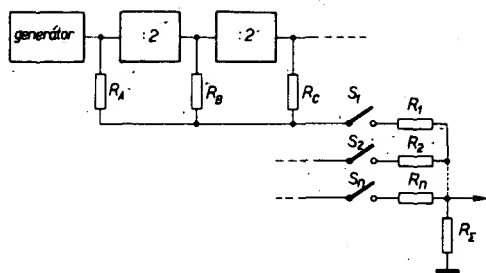
za předpokladu, že $U_k > U_0 > U_0$. Je-li na výstupu Q log. 1, je tranzistor zavřen (přechod báze–emitor je polarizován v závěrném směru). Proud oddělovacím tranzistorem protéká pouze tehdy, je-li na výstupu Q log. 0. Příklad zapojení oddělovače pro jednu klávesu je na obr. 55. Výhodou těchto oddělovačů je kromě jiného také to, že umožňují vyloučit slučovací odpory, neboť se slučují proudy stop jednotlivých kláves, přiváděné na napěťovou úroveň jediným odporem, společným pro kolektory tranzistorů stejných stopových výšek celé sběrnice nebo její částí. Potom musí být $R_c \ll R_E$, aby při větším počtu aktivovaných tónů pracovaly všechny proudové zdroje v lineárním režimu. Každá stopa tedy vyžaduje jeden tranzistor a jeden odpor. Náběh tónu opět může být regulován podobně jako v předchozím případě. Velmi podobná sběrnice je



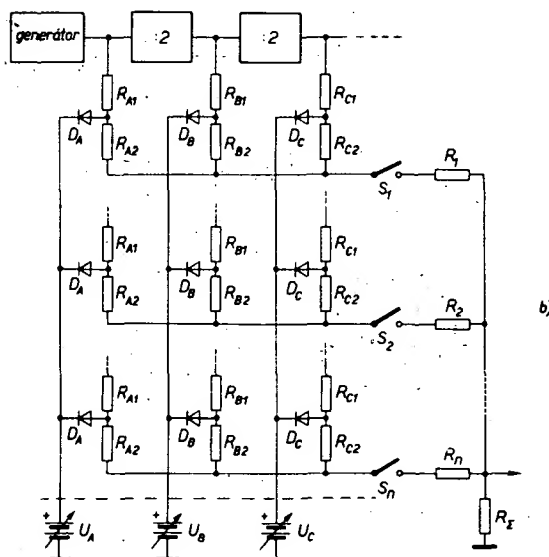
Obr. 54. Aktivizace proudového zdroje impulsy na výstupu Q děliče



Obr. 55. Tranzistorová sběrnice



Obr. 56. K rozboru zjednodušené sběrnice; a) ovládání více-stopového signálu jednoduchými kontakty, b) použití diodových omezovačů (úpravou napětových úrovní U_A , U_B a U_C lze ovládat signály jednotlivých stop)

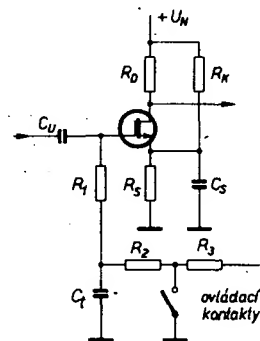


použita v [16], kde je popsána podle mých vědomostí, první amatérská konstrukce tohoto druhu u nás. V každém případě je elektronická sběrnice vhodná pro amatérskou stavbu kvalitních, ale také poměrně nákladných nástrojů.

Dosavadní výklad vyznívá poněkud pesimisticky, protože jen málo čtenářů může realizovat složitou mechaniku nebo investovat mnoho peněz do elektronické sběrnice. Lze tedy nějak jednoduše realizovat levnou a technologicky nenáročnou sběrnici, která by se vyrovnala činností komerčním výrobkům? Dospěl jsem k závěru, že takové řešení, za cenu určitého omezení palety zvukových zabarvení, existuje. Jaký je jeho princip? V úvodu této kapitoly jsme si všimli a znázornili (obr. 37) možnosti lineární kombinace jednostopových signálů s výběrem jednoduchými spínači; důsledkem tohoto řešení je však

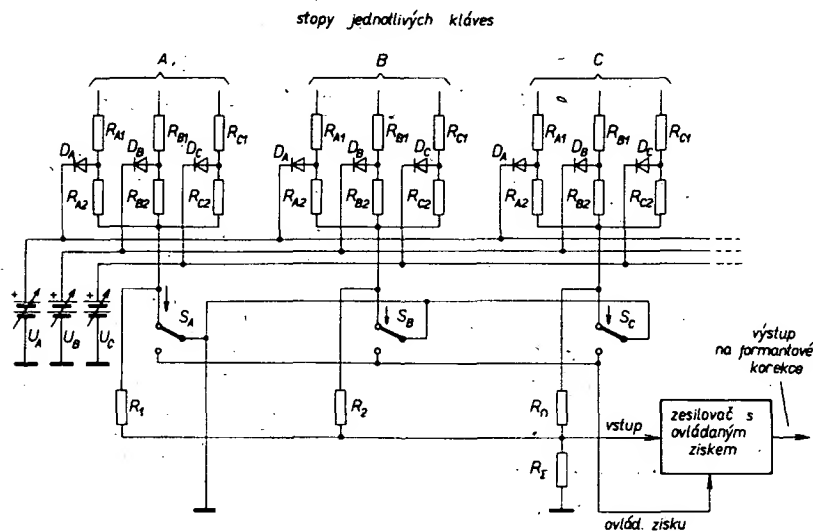
fádňní a nezajímavé zvukové zabarvení. Kdybychom však zvolili určitý stupeň zvukového zabarvení, určený konkrétním poměrem jednotlivých stop, mohly by se stopy každé klávesy samostatně směřovat pevnou odporovou sítí a komplexní signál by bylo možno ovládat stejným způsobem, jako v uvedeném případě na obr. 56a. Ani taková úprava by nás však trvale neuspokojila. Pro variabilní akustické zabarvení je třeba nějakým (předešlým levným) způsobem ovlivňovat poměr signálů jednotlivých stop, protože další korekce je v tomto případě možno dělat pouze kmitočtovou filtrací nebo formantovými filtry v kanálu komplexního signálu. Poměr stop je možno upravovat jednoduchými amplitudovými omezovači, nejlépe podle obr. 56b, ať již ovládáním všech stop nebo cestou vyvažování k pevné, např. střední stopě. Výstupní signál každé klávesy lze v zásadě

ovládat jak spínacími, tak rozpínacími kontakty. Úprava však žádným způsobem nepotlačuje kliky – omezovat je dolními propustmi v účinném rozsahu je v tomto případě nevhodné již z hlediska toho, že v rozsahu několika oktáv by byly různě ovlivňovány i příslušné signály stop a nebylo by možno vyrovnávat hlasitost a zvukový charakter nástroje v širším rozsahu. Naznačené řešení je tedy jednoduché a levné, avšak (stejně jako mechanická sběrnice) nepotlačuje kliky. Uvedli jsme již, že výraznost kliků je u polyfonních nástrojů značně maskována technikou hry. K dosažení minimálně stejných výsledků jako s mechanickou sběrnici by stačilo při kvalitních bodových kontaktech (jakými jsou například pružiny s kontakty z reléových svazků) potlačovat kliky pouze na počátku a konci intervalu vázaných tónů, nebo pro každý jednotlivý tón, tedy podobně jako u jednohlasých nebo vícehlasých nástrojů. Možné řešení takto zjednodušené sběrnice je na obr. 57. K ovládání každé klávesy stačí položit jeden přepínací kontakt. V klidové poloze kláves se zkratují výstupy signálů jednotlivých tónů, čímž se zamezuje přeslechům a jiné rušivé signály. Výstupní signál aktivovaných tónů je pak lineárně slučován do komplexního výstupu na zatěžovacím odporu. Po stisknutí první klávesy se na tomto odporu okamžitě objeví signál žádané-



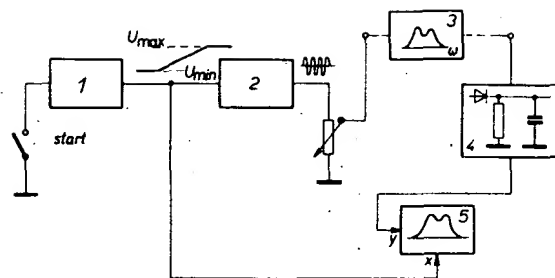
Obr. 58. Oddělovač kliků pro zjednodušenou sběrnici

ho tónu, doprovázený kliky, současně je s určitým zpožděním, určeným dobou překlopení kontaktu do polohy B získáván „start“ k aktivaci oddělovače. Při uvolnění klávesy se signál „stop“ naopak získává s předstihem před vymizením signálu tónu na zatěžovacím odporu. Musíme si uvědomit, že dynamický rozsah polyfonních nástrojů je ještě větší než vícehlasých! V obou případech (při jediném oddělovači) zpracováváme komplexní signál, který je ve srovnání se stopovými průběhy mnohem náročnější na velikost nelineárního zkreslení, k němuž dochází při jednoduchém ovládání zisku (například při řízení kolektorového napětí nebo proudu běžných tranzistorových zesilovačů). Zkreslení se projevuje výrazně rušivě nejen v ustáleném režimu, ale i při přechodu oddělovače z pasivní do aktivní oblasti a naopak! Proto je žádoucí v těchto případech použít jakostní, lineární zesilovač s širokým rozsahem regulace zisku. Velmi jednoduše lze problém řešit aplikací tranzistoru FET, zapojeného jako zesilovač s napětově řízeným ziskem, u něhož je zisk stupně úměrný napětí na elektrodách gate – source (řídící elektroda – emitor), obr. 58. Principu zapojení využívá i úprava pro potlačení kliků na obr. 57, klidová poloha všech kláves posouvá režim tranzistoru do oblasti zániku proudu kanálu. Se stiskem první klávesy přechází tranzistor FET s časovou konstantou ovládacího obvodu do ustáleného pracovního režimu a naopak. Přechody jsou doprovázeny plynulými změnami zisku



Obr. 57. Zjednodušená úprava sběrnice (S_A , S_B , S_C – ovládací kontakty)

Obr. 59. Námet k řešení nf rozmitače (1 – zdroj napětí pilovitého průběhu, 2 – převodník U/f , 3 – měřený obvod, 4 – detektor, 5 – zapisovač)



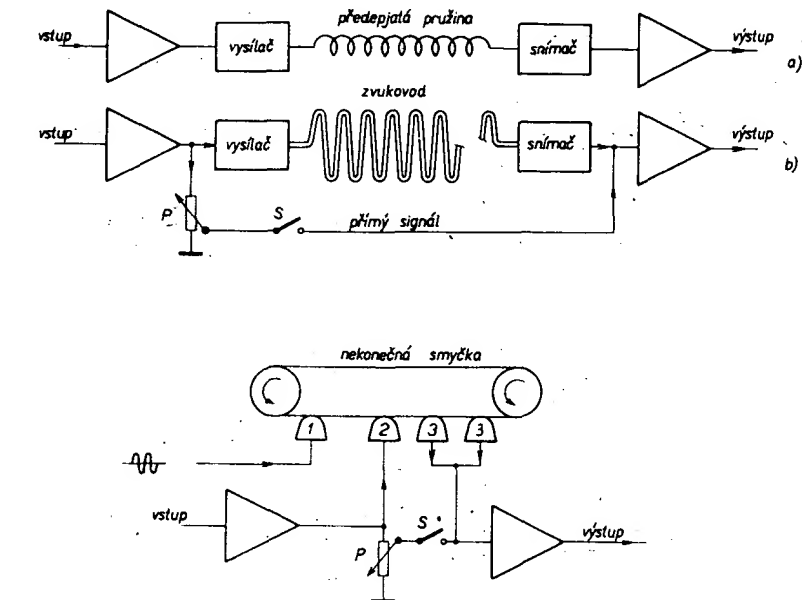
oddělovače kliků. Takové řešení považuji v naznačených souvislostech za nejvhodnější amatérskou úpravu sběrnice. Protože v tomto případě není možno působit jednoduše na spektrální obsah jednotlivých stop, je účelné rozdělit manuál (sběrnici) na dvě části (pro pravou a levou ruku). Tím vznikají z hlediska zpracování signálu dvě samostatné jednotky, každá s rozsahem 2 až 2 1/2 oktáv, u nichž je již možno regulací signálů stop a selektivní, formantovou úpravou obou komplexních signálů dosáhnout potřebného rozsahu zvukových zabarvení. To je ostatně vhodné i k nastavení dynamických poměrů při hře pravou a levou rukou, např. balančními potenciometry. V uvedené úpravě (avšak i v jiných případech) je užitečné měřit automaticky přenosové charakteristiky formantových obvodů, což přispívá k zjednodušení vývojových prací. Jako námet možného řešení je na obr. 59 ideové schéma nf rozmitače se zapisovačem. Ústředními prvky jsou převodník U/f se sinusovým výstupem a souřadnicový zapisovač. Řídící napětí pro rozmitání a pro posuv zapisovače ve směru osy x je nutno získat ze zdroje napětí pilovitého průběhu s nastavitelnou výstupní úrovní. Výstupní signál převodníku po impedance úpravě se vede na regulátor úrovně a z něj na měřený kmitočtově závislý korekční článek. Jednoduchý detektor musí mít velký vstupní odpor a časovou konstantu $\tau \gg 1/f_{\min}$. Po odstartování spínačem „start“ můžeme během několika desítek sekund získat graficky záznam přenosové charakteristiky.

Dalšími obvody polyfonních nástrojů jsme se prakticky (v jiných souvislostech) již zabývali. Typickými efekty jsou opět vibrato, tremolo, výjimečně chorus, glizando, nebo již zmíněné variace na časový průběh modulační obálky, které jsou ovšem vzhledem k trvale pracujícím generátorům výrazně pestřejší a účinnější. Zvláštní význam u polyfonních nástrojů mají doplňky, umožňující vytvářet další, speciální efekty. Těchto složitých, často víceúčelových systémů, jejichž cena je obvykle srovnatelná s cenou vlastního nástroje, si ještě povšimneme.

Doplňky a perspektivy polyfonních nástrojů

Konfrontujeme-li popsané způsoby elektronického vytváření komplexního signálu s požadavky přesně vystihnout zvukový charakter určitého akustického zdroje (viz úvodní kapitoly), musíme konstatovat, že vždy ten či onen systém teoretické možnosti značně omezuje. Je to logické, při praktické realizaci je vždy jedním z nejdůležitějších kritérií efektivnost a spolehlivost řešení. Nástroje, které jsme dosud uvažovali, mají výrazně omezen časový průběh jak modulační obálky, tak zvukového zabarvení. Oba parametry jsou buď časově neměnné, nebo jsou definovány pouze velmi jednoduchými, na realizaci nenáročnými časovými funkcemi.

Aby byly tyto nedostatky potlačeny nebo odstraněny, v současné době se aplikují v nástrojích již zmíněná doplňková zařízení nebo se konstruují nástroje nové, jinak řešené, které tyto nedostatky nemají.



Obr. 60. Konvenční cesty zpoždování analogových akustických signálů (1 – mazací hlava, 2 – záznamová hlava, 3 – reprodukční hlavy)

Jedněmi z nejrozšířenějších doplňkových zařízení, přinášejících skutečně mimořádný kladný přínos subjektivnímu vnímání, jsou zpožďovací systémy, jimiž jsou vytvářeny dozvukové a ozvěnové efekty. Dosud nejznámější a nejužívanější jsou mechanické a elektromechanické způsoby vytváření těchto efektů (obr. 60).

Nejstarší je první způsob, u něhož se zpoždění dosahuje šířením mechanického rozruchu jednou nebo více předpjatými kovovými pružinami. Elektromechanické měniče bývají řešeny jako elektromagnetické nebo piezoelektrické; systémy mají vždy určitou selektivitu a lze s nimi dosáhnout dobrých výsledků, často i při amatérské konstrukci.

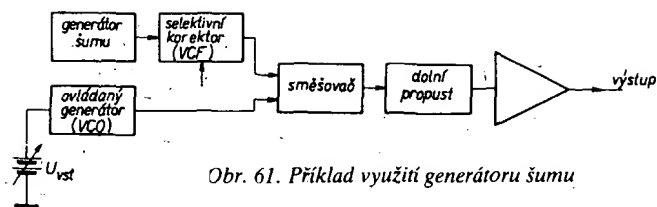
U druhého způsobu je zpoždění signálu založeno na rychlosti šíření zvuku vhodným akustickým kanálem. Elektroakustický měnič (vysílač) je napojen na šroubovici ve stočenou trubičku. Při délce trubičky 150 m je zpoždění signálu, snímaného mikrofonem, přibližně 0,5 s. Při sepnutém spínači (obr. 60b) je možno ovlivňovat vzájemný poměr přímého a zpožděného signálu. Tento způsob jsme orientačně ověřovali s bužírkou z plastické hmoty jako zvukovodem a sluchátky k tranzistorovým přijímačům na místě obou elektroakustických měničů a výsledky byly povzbuzující.

Třetím způsobem, užívaným nejčastěji, je „playbackové“ snímání přes nekonečnou smyčku (obr. 60c). Výstupní signál lze ovládat kombinací úrovní výstupů od jednotlivých snímacích hlav a přímého signálu. Zjednodušeně lze tento systém realizovat i amatérsky dodatečným vestavěním přídavné snímací hlavy do magnetofonu. Je ovšem třeba dodat, že ne každý magnetofon je pro takovou úpravu vhodný.

Nejznámějším z řady dalších efektů je systém Leslie, který svého času natropil konkurenci mnoho starostí. Jeho princip je velmi jednoduchý, bývá uváděno, že k jeho objevu přispělo studium prostorového efektu, používaného u některých klasických varhan, vybavených pro každý tón dvěma stejně laděnými píšťalami. Rozdílnými tlaky vzduchu, vhněného do obou píšťal, se dosahuje vzájemných amplitudových a fázových odchylek obou jinak stejných tónů. Tímto způsobem bývají realizovány registry vox humana, vox celeste aj. Přišlo se na to, že

podobných, ale i odlišných efektů je možno dosáhnout elektromechanickou cestou i u nástrojů elektronických, což je právě systém Leslie, někdy také označovaný jako systém rotujícího reproduktoru nebo, ne zcela správně, fázové vibrato. Princip Leslie efektu je založen na prostorovém „pohybu“ akustického zdroje; k realizaci se používá mechanická rotace některého z prvků pomocné cesty akustického signálu (reproduktor, odrazná deska, mikrofon). Rotace vyvolává dojem prostorového pohybu akustického zdroje, což mikrofon nebo posluchač vnímá podobně jako Dopplerův jev; tj. jako kolísání kmitočtu sledovaného tónu a cyklické změny polohy jeho zdroje. Této charakteristické kombinace lze zřejmě dosáhnout pouze elektrickou cestou. Charakter efektu je možno v širokých mezích ovlivňovat především rychlostí rotace. Například pomalá rotace je typická pro „katedrální“ efekt, který ve spojení s dozvučným zařízením umožňuje v širokých mezích kompenzovat nevyhovující akustické podmínky koncertních prostor. Problémem tvorby Leslie efektu jsou vysoké náklady na zabezpečení spolehlivosti rotujících kontaktů, na odstup hluku pohonného systému a na další zpracování signálu. Proto jsou v současné době perspektivní pouze systémy, které tyto a mnohé další efekty realizují elektronickou cestou. Jedno z nejmodernějších řešení si ještě dále stručně popíšeme.

Zvláštní místo mezi prostředky k vytváření různých zvuků a efektů zaujímají aplikace generátorů šumu. Princip jejich využití je



Obr. 61. Příklad využití generátoru šumu

blokově znázorněn na obr. 61 a porozumíme mu blíže po prostudování kapitoly věnované syntetizérům. Naznačeným způsobem je možno získat signál s definovaným dominantním kmitočtem a s mimořádně bohatým spektrálním obsahem. Oba tyto základní parametry mohou být ovlivňovány buď ručně nebo automaticky. Tak bývají napodobovány některé jinak těžko vystižitelné nástroje, jako např. bici, vytvářeny zvuky zcela nové, typu science fiction, velmi užitečné pro scénické a jiné aplikace.

Další důležitou cestou k obohacení kvalitativních vlastností nástrojů je komplexní zdokonalování jejich jednotlivých prvků. Například vývoj ovládacího systému (jako interface mezi manuálem a vlastním elektronickým systémem) je nesporně teprve na začátku. Technologický rozvoj jistě umožní komerčně řešit regulaci dynamiky jednotlivých tónů a nejsou vyloučeny ani jiné možnosti. S tím úzce souvisí i nutnost perspektivně řešit programovatelné generování obálky nejen co do dynamiky, ale i po stránce časového průběhu spektrálního složení. V této oblasti již bylo např. u syntetizérů dosaženo obrovského pokroku. Dalším, již poměrně široce užívaným obohacením zvukového projevu jsou automatické nebo poloautomatické generátory pozadí nebo rytmického doprovodu, známé rytmické boxy a composery. Pracují obvykle na digitálním principu, ale také s využitím rotačních disků nebo magnetopáskových přehrávačů.

Velmi často, zvláště v amerických konstrukcích, se používá vestavěný kazetový magnetofon, ať již v součinnosti s obvody pro doprovod nebo k vytváření efektů, nebo při cvičení pro sebekontrolu.

Řada uvedených, ale i jiných systémů, triků a efektů již dnes, ale především v budoucnosti bude využívat technologického rozvoje. Typickými příklady obvodů ke konstrukci hudebních nástrojů jsou digitální a paměťové obvody, posuvné analogové registry, vzorkovací obvody, aktivní filtry a napěťové řízené obvody. Navažme na tyto úvahy alespoň stručnou zmínku o principech a řešení komplexních systémů syntetické tvorby zvukových signálů a čistě elektronickém řešení efektů typu Leslie.

Syntetizéry

Ekonomické a technické důvody jsou příčinou toho, že klasické elektronické nástroje, navzdory široké variabilitě zvukového zbarvení a množství efektů, nevyužívají plně možnosti tvorby zvukových signálů, které nesporně existují. Od dob, kdy elektronické nástroje musely tvrdě bojovat o svoji existenci a uznání svého místa v legitimní hudbě, se již mnohé změnilo. Dnes, kdy v oboru elektronické hudby působí mnozí známí skladatelé a umělci, si některá hudební odvětví, zvláště moderní, zábavné a taneční hudby bez těchto nástrojů ani neumíme představit. Současně s tím však vzrůstají požadavky na kvalitu a zvláště škálu výrazových možností nástrojů. Zatímco dříve byly proti aplikaci elektroniky v hudbě námitky, nyní si potlačením tradice hudba sama vynucuje nové, ne-

konvenční výrazové prostředky, přesahující možnosti běžných nástrojů.

V poslední době se objevil nový obor elektronických nástrojů, který možností syntetické tvorby zvukových signálů využívá mnohem komplexněji, ovšem také zcela jiným způsobem než běžné nástroje. Protože v naší literatuře o těchto nástrojích, syntetizérech, dosud nebyla žádná zmínka, věnujme se jim alespoň stručně, již vzhledem k tomu, že řada poznatků z tohoto odvětví bude v budoucnosti jistě aplikována i u klasických elektronických nástrojů, s nimiž mají zatím syntetizéry společný snad pouze manuál. Tím podobnost prakticky končí, nehledě na to, že i manuál se u nich používá zcela jiným způsobem. I jednotlivé typy nástrojů se poměrně výrazně liší, všimněme si proto především technických principů a některých zajímavých aplikací.

Syntetizér jsme jistě všichni viděli alespoň v televizi. Vypadá jako krátký klávesový nástroj s rozsahem tří až čtyř oktáv, vybavený řadou spínačů, tlačítek, konektorů a mnohdy spíše než hudební nástroj připomíná analogový počítač. Charakteristickou vlastností syntetizéru jsou jeho mimořádně velké možnosti napodobovat zvuk klasických nástrojů i jiných, podle běžných měřítek nehudebních nebo zcela nových zvukových signálů. Tak například je možno napodobit jedoucí vlak, housle, pláč dítěte apod. V tomto ohledu je práce se syntetizérem velmi citlivá také na schopnosti hudebníka rozpoznat hranici mezi uměleckými a technickými požadavky (při přechodu z jednoho zvukového zbarvení na jiné apod.). Teoreticky je však škála zvukových zbarvení neomezená.

Syntetizér není možno přímo srovnávat s jiným hudebním nástrojem. Tak třeba na piano může, byť i nedokonalé, okamžitě hrát kterýkoli hudebník, dělat pauzy atd. Naproti tomu syntetizér je ke hře nutno nejprve připravit, k čemuž je nutná znalost jeho vnitřní organizace. Příprava spočívá v nastavení určitých kódů, signálových cest a dalšího zpracování signálu. Teprve potom je syntetizér schopen činnosti. Vlastní práce se syntetizérem není ani tak těžká, jako zcela neobvyklá. Musí překonávat řadu překážek, problémy jsou nejen uměleckého, ale i technického rázu, promítají se dále v potřebě speciální instrumentace pro tento nástroj. Z hlediska technických problémů jsou u klasických syntetizérů nejzávažnější dva. Prvním je možnost produkovat pouze jedinou notu, jediný tón v reálném čase, podobně jako u jednohlasých nástrojů. Druhým problémem je možnost produkovat pouze jedinou zvukovou kvalitu v tomto čase.

Na nástroj se tedy v reálném čase hraje jako na jednohlasý – pokud je třeba změnit zvukové zbarvení, je nutno hru zastavit a přeprogramovat nástroj. Tímto způsobem se také často skutečně hraje.

Pro vícehlasou hru nebo produkci se složitějšími efekty se využívá záznam na magnetofonový pásek. Hudebník zaznamenává jednotlivé úseky své kompozice, zastavuje záznam, přeprogramovává nástroj a znovu nahrává. Stejným způsobem může být sestavena jednohlasá melodie nejrůznějších postupných kvalit zvukového zbarvení. V obou případech samozřejmě není možno přímo hrát v reálném čase, ale pouze ze záznamu. Magnetofon musí mít speciální ovládací zařízení pro přesnou a právě žádanou synchronizaci jednotlivých složek signálu nebo stop.

Tak je například možno s použitím syntetizéru nahrát společnou produkci „různých“ nástrojů, nebo hrát jednohlasou melodii na jedné stopě, pozadí, harmonii nebo rytmus na ostatních stopách magnetofonu.

Možnost hry v reálném čase v určitém slova smyslu existuje při společné hře několika syntetizérů, případně ještě dalších nástrojů. Pak může jeden nebo dva syntetizéry hrát, zatímco ostatní ladí a přeprogramovávají své nástroje. Tato cesta je ovšem schůdná pouze pro studiové nebo podobné nahrávky vzhledem k vysokým nákladům a potřebě neúnosného počtu hudebníků stejného zaměření. Častější je určitá vzájemná spolupráce polyfonního nástroje a syntetizéru. Přes naznačené problémy přinášejí syntetizéry do moderní hudby zcela nové perspektivy, které jsou teprve upřeshňovány vzhledem k bouřlivému rozvoji oboru.

Jaká je však technická stránka těchto nesporně zajímavých nástrojů? Principem se neliší od našich představ o vytváření akustických signálů elektronickou cestou. Výsledné zvukové zbarvení je určováno spektrálním složením signálu a jeho modulační obálkou. Na obě tyto základní definice tónového signálu je však u syntetizéru možno působit v celém průběhu jejich trvání obvody, kterými je signál vytvářen a zpracováván.

Syntetizéry generují v zásadě tři druhy elektrických signálů:

1. akustické,
2. řídicí,
3. spouštěcí.

Akustické signály jsou vlastním produktem syntetizéru. Řídicí signály ovládají kvalitu akustických signálů, především výšku a zbarvení tónů. Spouštěcí signály ovládají mimo jiné i stavy start/stop programu. Jsou často vybavovány ručně, ale elektronické obvody tuto práci maximálně usnadňují.

Většina syntetizérů vytváří základní tóny z jednoho nebo několika tónových generátorů a také generátoru šumu. Tónový generátor produkuje v určitém čase pouze jediný tón, kdežto generátor šumu celé široké spektrum. Tónový generátor může pracovat v celém akustickém pásmu; výstupní signály každého z generátorů (nejčastěji pravouhlého a pilovitého někdy i sinusového průběhu) jsou paralelní (vyskytují se současně) a mohou být libovolně vybírány nebo kombinovány. Kmitočet oscilátoru se mění při přerušení činnosti, může však být měněn v požadovaném rozsahu i plynule. Ze signálů generátoru šumu je vybíráno pouze úzké spektrum, tzv. růžový šum. Hudebník má možnost ovládat jeho amplitudu a dominantní kmitočet.

Nejdůležitějším systémovým přínosem syntetizérů je to, že kmitočet i amplitudu (včetně ostatních parametrů) každého generovaného signálu je možno ovládat nejen ručně, ale i řídicími signály. Systém využívá analogového, napěťového ovládání. Základními stavebními prvky syntetizéru jsou především:

1. napěťově řízený oscilátor (VCO – voltage controlled oscillator),
2. napěťově řízený filtr (VCF – voltage controlled filter) a
3. napěťově řízený zesilovač (VCA – voltage controlled amplifier).

Napěťovému ovládání je podřízena i činnost manuálu. Stisknutím každé klávesy se snímá určitá napěťová úroveň, určená odpovídajícím dělicím poměrem odporové sítě pro to které pořadí klávesy. Napětí této úrovně je vyvedeno na konektor nebo přepínací sběrnici. Připojíme-li výstup z konektoru například na VCO, odpovídá kmitočet oscilátoru tónu, jehož klávesu jsme stiskli. Nemusí tomu tak být vždy, protože intervaly mezi klávesami je možno upravovat. Výstup však může být zapojen i na jiné napěťově citlivé obvody – pak je možno řídit hlasitost (pomocí VCA), zvukové zbarvení (pomocí VCF) a jiné parametry. Manuál syntetizéru tedy

může sloužit k ovládání řady různých funkcí.

Zvláštní význam mají i obvody, umožňující ovlivňovat nebo programovat časový průběh řídicích signálů – jejich aplikací lze získat kupříkladu: neustálé, mnohdy co do charakteru velmi složité kolísání výšky nebo modulační obálky tónu, nebo ovšem také obou uvedených parametrů současně. Stejně může být ovlivňováno i zvukové zabarvení.

Nejdůležitější jsou však tři základní prvky syntetizéru. U VCO (u nás spíše známý jako převodník napětí/kmitočet) se neřídí opakovací kmitočet obvodovým prvkem (odporem, kondenzátorem), kmitočet jeho výstupního signálu je přesně lineární funkcí vstupního (řídicího) analogového napětí. Převodní charakteristika $\omega = f(U_{\text{vst}})$ se tedy vyznačuje určitou, stabilní strmostí konverze $X[\text{Hz/V}]$.

Jako zjednodušený, názorný příklad napětově řízeného zesilovače (VCA) můžeme uvést již zmíněné zapojení na obr. 58 s tranzistorem FET. V tomto případě je řízení negativní – nulovému řídicímu napětí odpovídá plný zisk, minimální zisk je při určitém záporném řídicím napětí. I když není převodní charakteristika VCA přesně lineární, můžeme opět počítat s určitou průměrnou strmostí útlumové charakteristiky – $Y[\text{dB/V}]$.

Rovněž u napětově řízených filtrů odpovídá změně kritického nebo rezonančního kmitočtu například o jednu oktávu určitá změna řídicího napětí, např. 1 V.

Kmitočtové charakteristiky tří základních obvodů, užívaných v syntetizérech, jsou na obr. 62. Je samozřejmé, že přesně realizovat požadované funkce VCO, VCA a VCF kladné nároky na kvalitu a stabilitu jednotlivých obvodů. Jsou to však vesměs problémy bezpečně zvládnuté, ať již integrovanou, nebo hybridní technologií. U nás jsou podobné obvody zatím nedostupné.

Jako jednoduchý příklad aplikace napětově řízeného zesilovače si uvedeme blokové schéma obvodu, generujícího modulační obálku akustického signálu, obr. 63. Generátor je možno spouštět ručně nebo automaticky. Při automatickém ovládání se používá taktovací signál ve tvaru hodinových impulsů. Při ručním ovládání systém pracuje při sepnutém kontaktu. Použije-li se v obvodu, generujícím řídicí napětí pro VCA, výstupní napětí VCO určitého průběhu, pak tímto výběrem definujeme dobu trvání jednotlivých úrovní a tedy charakter řídicího signálu. Tímto signálem, který ovládá zisk VCA, je definována obálka časového průběhu akustického signálu. Při ručním ovládání klávesami je možno navíc tuto obálku libovolně ovlivňovat úrovní právě přiváděného analogového napětí.

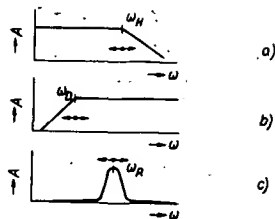
Systém napětově řízených obvodů, ve spojení s magnetickým záznamem, však může zajišťovat řadu dalších zajímavých aplikací. Jednou z nich je napodobování akustických odrazů. Efekt spočívá v sekvenčních kombinacích různých generovaných signálů. „Páskové echo“ je druh ozvěny – kombinace přímého signálu s přesně řízenými zpožděnými nebo opakovanými signály.

Další efekt ke změně barvy používá kruhové modulatory se dvěma vstupy, jeden pro akustický a druhý pro modulační signál. Z výstupu modulatoru se odeberá algebraický součet obou signálů, kdežto původní, vstupní signály jsou potlačeny.

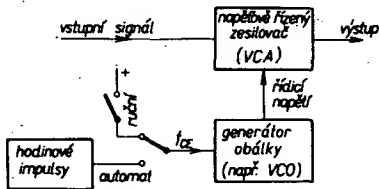
U syntetizérů se používají také známé efekty „fuzz“ a „WA-WA“. Fuzz je založen na dodatečném vytváření vyšších harmonických složek u signálů, jejichž spektrum je relativně chudé. Wa-Wa využívá přeladování napětově řízených filtrů. Oba efekty jsou obvykle ovládány pedálem.

Dalších efektů lze dosáhnout napětově řízenými směšovači, které upravují proporce dvou nebo několika řídicích signálů, programujících jednotlivé nebo kombinované efekty.

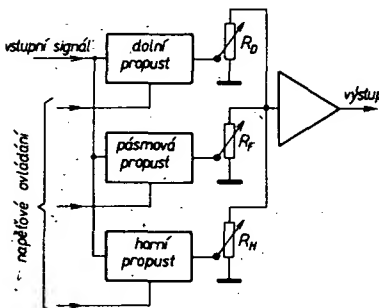
Velice užitečné jsou ekvalizéry. Jsou to



Obr. 62. Přenos charakteristických kmitočtově závislých prvků; a) dolní, b) horní a c) pásmová propust



Obr. 63. Generování a ovládání průběhu modulační obálky



Obr. 64. Použití napětově řízených filtrů v ekvalizéru

vhodné sestavy napětově řízených filtrů a propustí, jimiž se filtrují určité oblasti akustického pásma kmitočtů. Blokové schéma ekvalizéru je na obr. 64. Z obrázku je zřejmé, jak efektivně je možno s jednoduchou soustavou tří napětově řízených filtrů upravovat přenosové charakteristiky co do kmitočtové oblasti nebo řádu filtru.

Kompresory a limity jsou další oblastí aplikace VCA – efekty jimi vytvářené užívají mnohonásobného zesílení nebo potlačení úrovně původního signálu.

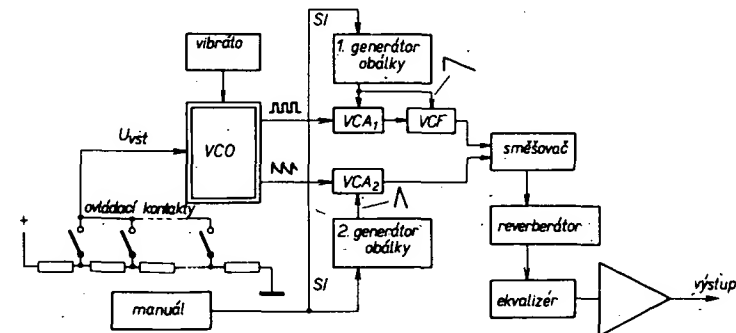
Možností systémového a obvodového řešení nástrojů s využitím napětově ovládaných prvků je samozřejmě mnohem více, uvedli jsme si pouze nejdůležitější a nejzajímavější.

Celá tato perspektivní oblast prochází neustálým vývojem, proto se, pokud bude zájem, budeme se zajímavými systémy průběžně seznamovat na stránkách AR.

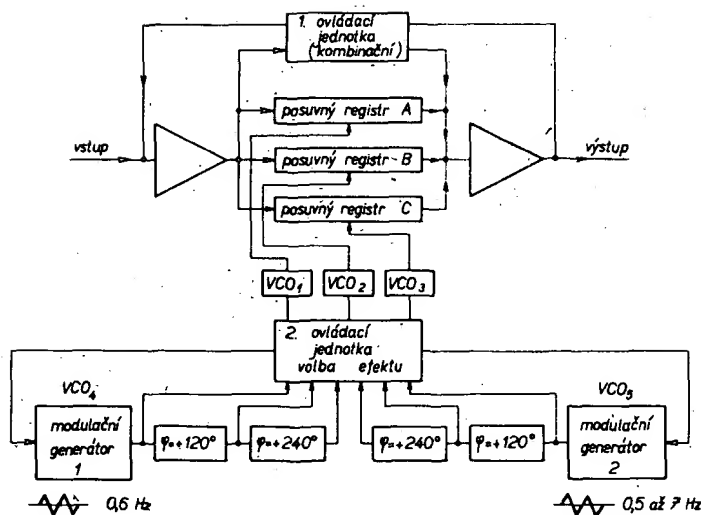
Využijme v závěru toho, co jsme si o jednotlivých problémech a prvcích typických pro syntetizér dosud řekli, k popisu blokového schématu a činnosti klasického syntetizéru. Jádrem celého systému je základní VCO, jehož opakovací kmitočet je ovládán klávesami. Takto ovládané tóny odpovídají stupnici temperovaného ladění. Jako u ostatních popisovaných systémů může být kmitočet VCO rozmitán (vibrato). VCO (obr. 65) má vždy minimálně dva paralelní výstupy – zde se signály pravouhlého a pilovitého průběhu. Naznačené uspořádání obsahuje také dva generátory obálky, tedy obvody, vytvářející řídicí napětí pro VCA, VCF nebo jiné prvky. První generátor vytváří napětí pro VCA₁ a VCF v cestě signálu pravouhlého průběhu, který může být těmito obvody ovlivňován jak jednotlivě, tak jejich společnou činností. Druhým generátorem obálky je přes VCA₂ ovlivňován časový průběh signálu pilovitého průběhu. Oba generátory obálky jsou ovládány spouštěcími impulsy, synchronizovanými se stiskem klávesy, tedy s přiložením řídicího napětí na VCO. První generátor je určen pro časově delší tvarování, druhý generátor naopak pro krátké. VCF v kanálu se signálem pravouhlého průběhu s „pomalým“ generátorem obálky ovlivňuje spektrální obsah tohoto signálu plynulým přeladováním filtru v závislosti na okamžité velikosti řídicího napětí. Součinností obou generátorů obálky a VCA v obou větvích navíc je tak vytvářeno pole pro široké možnosti úpravy nejen modulační obálky, ale i proměnného zvukového zabarvení. Výstupy obou kanálů jsou slučovány ve směšovači, upravujícím jejich poměr a zaváděny do dalších stupňů (především ozvěnový nebo dozvukový systém, reverberátor a ekvalizér). Není snad třeba dodávat, že směšovač, reverberátor a ekvalizéry jsou opět napětově ovládány řídicími signály. Početem a úpravou jednotlivých řídicích signálů je možno ovlivňovat zvukové zabarvení, modulační obálku, charakter i množství triků a efektů v rozsahu, který nemůže být zatím srovnáván s žádným jiným nástrojem nebo systémem.

Elektronické vytváření efektů

Zmínili jsme se již, že soudobý trend řešení složitých a drahých efektů typu Leslie, dosud vytvářených elektromechanickou cestou se zmíněnými nedostatky a problémy, směřuje ke konstrukci čistě elektronickou cestou. Tento dá se říci převrat je umožněn technologickým pokrokem v realizaci paměťových a jiných obvodů. Elektronické systémy umožňují regulovat intenzitu a „rychlost“



Obr. 65. Blokové schéma jednoduchého syntetizéru (SI – spouštěcí impulsy)



Obr. 66. Blokové schéma doplňkového generátoru efektů (Wersivoice)

efektů bez výraznějších omezení a s velkou spolehlivostí. Obecným principem je rozdělení cesty signálu do několika kanálů, u nichž je možno ovlivňovat „modulovat“ zpoždění signálů. Sloučením signálů jednotlivých kanálů a přímého signálu v různých poměrech je možno vytvářet skutečně širokou škálu efektů chorusového a orchestrálního typu (s těmito systémy lze např. napodobovat dojem z poslechu celého smyčcového orchestru). Řada výrobců takové přístroje vyrábí buď jako díly elektronického nástroje, nebo jako doplňky k těmto nástrojům.

Všimněme si alespoň stručně zajímavého řešení firmy Wersi-elektronics, které bylo vystavováno na frankfurtském veletrhu v r. 1976. Systém může pracovat v součinnosti nejen s elektronickým nástrojem, ale i s jiným zdrojem, například s kytarovým snímačem nebo mikrofonem, je víceúčelový, může produkovat řadu efektů jak jednotlivých, tak v kombinaci. Tento příklad jsem zvolil hlavně proto, že je u něj zřejmá určitá návaznost na technické řešení syntetizérů, i když se obvody používají jiným způsobem.

Blokové schéma víceúčelového elektronického systému Wersivoice je na obr. 66. Jádrem jsou tři analogové posuvné registry. Při průchodu signálu těmito obvody dochází ke zpoždění, které je závislé na kmitočtu hodinových impulsů a může být u každého ze tří kanálů různé. Hodinové impulsy jsou vytvářeny třemi napětově řízenými oscilátory (VCO), z nichž každý přísluší jednomu posuvnému registru. Navíc může být každý VCO nezávisle kmitočtově rozmláňán vhodně upraveným řídicím napětím. Tím je umožněna široká variabilita fázových odchylek výstupních signálů všech tří posuvných registrů. Okamžitá velikost zpracovávaného analogového signálu je do každého registru (s více jak 500 pamětovými buňkami) ukládána ve skocích, řízených hodinovými impulsy z příslušného VCO.

Organizace registru je následující – v prvním taktu je okamžitá velikost analogového signálu uložena do první buňky. Ve druhém taktu je obsah první buňky přenesen do druhé. Ve třetím taktu je obsah druhé buňky přenesen do třetí a současně se do první, nyní volné buňky, ukládá vstupní signál okamžité velikosti. Celý tento cyklus se periodicky opakuje. Úpravou signálu hodinového kmitočtu je možno v jistých mezích ovládat zpoždění signálu, úměrně tomuto kmitočtu a kapacitě registru. Hodinový kmitočet je

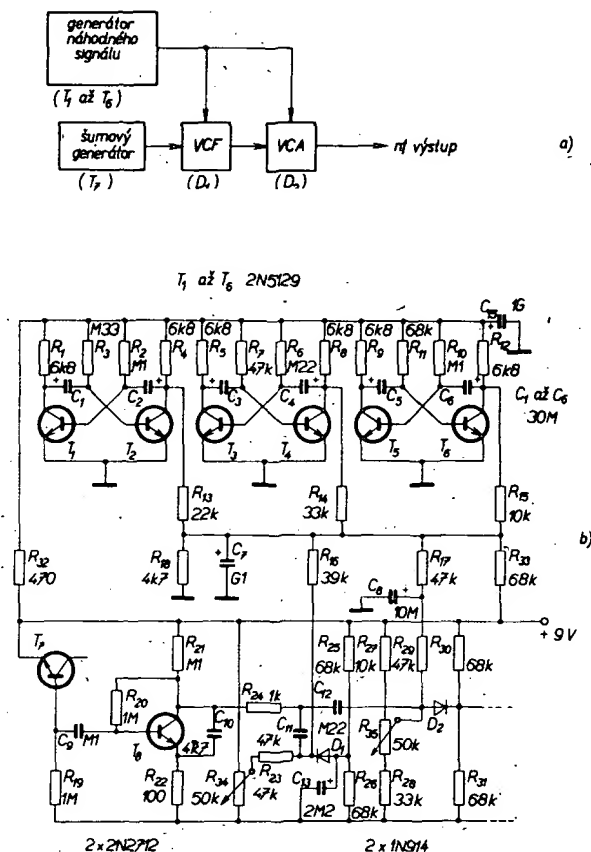
ovládán v rozsahu asi 50 až 250 kHz. Protože řídicí napětí z ovládací jednotky pro VCO₁ až VCO₃ je proměnné, jsou proměnné i hodinové impulsy těchto tří oscilátorů a tím se mění periodicky i zpoždění jednotlivých registrů. Z toho vyplývají fázové, kmitočtové i amplitudové odchylky výstupního signálu (vytvářeného smísením výstupních signálů jednotlivých registrů) od původního vstupního signálu.

Řídicí signály pro VCO₁ až VCO₃ zpracovává ovládací jednotka, napájená ze dvou modulačních generátorů. Každý z nich je opět tvořen napětově řízeným oscilátorem. Modulační generátor 1 vytváří signál trojúhelníkovitého průběhu s opakovacím kmitočtem 0,6 Hz. Pracuje pouze při efektu „Chor“. Generátor 2 pracuje při efektu „Chor“ s kmitočtem asi 7 Hz, při efektu „Vibrato“ lze kmitočet nastavit v rozsahu 0,5 až 7 Hz. Signál tohoto generátoru je dále

upravován na sinusový. Z uvedených základních signálů jsou v obou modulačních generátorech obvody s dvoustupňovým fázovým posuvem vytvořeny trojice vzájemně posunutých signálů. Z těchto šesti modulačních signálů jsou v ovládací jednotce vytvářeny kombinace řídicích napětí pro VCO podle právě žádaného efektu. Takto jsou ovládány základní charakteristické rysy efektů a pomalá nebo rychlá „rotace“.

Druhá ovládací jednotka upravuje především dynamickou výraznost efektů úpravou vzájemných poměrů jednotlivých signálových cest. Zdůrazňme, že veškerá činnost, včetně ovládacích jednotek, je napětově řízena, což kromě operativního ovládání přináší také možnost dálkového ovládání, například režisérem nebo zvukařem.

Myslím, že nyní můžeme ukončit tuto první část, kterou jsem se snažil upravit tak, aby čtenář našel systematicky seřazeno co možno největší množství základních informací, postřehů a upozornění na kritická místa jednotlivých systémových řešení, tedy to, co jsem sám při práci nejvíce postrádal. Je samozřejmě, že v tomto stručném shrnutí nemůže být obsaženo vše, již vzhledem k tomu, že amatérský zájem jednotlivce je nedostačující základnou k získání úplného a fundovaného přehledu o celé problematice. Vždyť desítky a stovky světových výrobců v tomto, v současné době z komerčního hlediska velice úspěšném odvětví spotřební elektroniky, neustále chrlí nové a nové přístroje s novými způsoby řešení, o nichž ani nevíme. Domnívám se, že právě z hlediska orientace v nových řešeních, při vývoji nových zařízení a při posuzování stavebních návodů, které jsou pro laického zájemce o konstrukci vesměs příliš specializované a tím ne vždy dosti srozumitelné, by měly být dosavadní řádky užitečné. Je samozřejmě, že ne každému bude zajímat vše, co bylo dosud napsáno. Pro většinu čtenářů však bude i tato stručná procházka základními principy a problémy užitečná již z toho důvodu, že v naší literatuře je právě v této oblasti v současné době citelná mezera.



Obr. 67. Přibojový syntetizér; a) blokové schéma, b) schéma zapojení

Problémy systémového a obvodového návrhu nástroje

Koncepce nástroje

Realizace nástroje je vždy spojena s určitými problémy a kompromisy. Široká škála kvalitativních skupin a systémových řešení nástrojů, poměrná složitost v důsledku značného počtu obvodových prvků, konstrukčních a mechanických detailů a jiné důvody zabraňují jednoduchému a jednoznačnému řešení. Z amatérského hlediska jsou zvláště závažné problémy s výběrem koncepce systému, mechanického řešení a s nimi souvisejícími otázkami stability a spolehlivosti. Zvláštní místo zaujímá hodnocení nástroje z hlediska jeho univerzálního využití, včetně aplikace trikových signálů a efektů.

Hodnotíme-li naznačené požavky zcela nezaújatě, pak je mohou splnit nejspíše nástroje polyfonní. Je nesporným faktem, že takový nástroj je možno, a dokonce bez mimořádných technických problémů, realizovat. Většinu konstruktérů však odrazují v první řadě poměrně značné náklady, má-li být nástroj kvalitní, za druhé je nutno počítat s kvalitním dílenským vybavením a s časem, nutným na stavbu, což jsou důvody, pro které již nejedna konstrukce skončila předčasně. Ze stejných důvodů je také většina amatérských nástrojů řešena jinak, jejich typickým znakem bývá snaha celý systém zjednodušit. Většinou se využívá faktu, že se nástroj ve srovnání s klasickými klávesovými nástroji, například s klavírem používá nekonvenčním způsobem. Tradiční uspořádání klávesnice v oktávovém rozsahu ovšem musí být zachováno. Jednohlasými a vícehlasými nástroji jako představiteli zjednodušené verze nástrojů jsme se již ze systémového hlediska zabývali. Myslím, že cesta zjednodušování je za určitých předpokladů správná, vždyť každý, i klávesový nástroj má své specifika, která je nutno respektovat. Dostáváme se tak k problému vlastního využití nástroje, což zdaleka není zanedbatelné. Je možno důvodně předpokládat, že mezi těmi, kdož jsou schopni si nějaký nástroj postavit, bude drtivá většina mnohem schopnějších konstruktérů, než muzikantů. Potom rozhodně nemá smysl věnovat léta práce a značné finanční prostředky na realizaci nástroje, který vlastně nedokážeme plně ovládnout. Před stavbou je tedy v první řadě třeba důkladně rozebrat vlastní požadavky a možnosti, aby bylo předem zaručeno, že výsledek bude po všech stránkách úspěšný.

Jaké jsou možnosti jednodušších koncepcí? Většina konstrukcí, přicházejících v úvahu, jsou v podstatě variace nebo kombinace řešení, jimiž jsme se již zabývali.

Nejjednodušší a nejlevnější jsou jednohlasé nástroje. Jsou dobrým úvodem do celé problematiky, jejich možnosti jsou však natolik omezené, že konstrukci je možno doporučit pouze mladým zájemcům bez finančních a jiných prostředků. Vhodnými příklady jsou zapojení na obr. 25, oblíbený Minifon [14] a řada jiných. Poměrně zajímavá uplatnění v orchestru mohou najít i varianty těchto nástrojů s plynulým laděním – o jednotlivých možnostech jsme se již stručně zmínili.

Zjednodušená řešení polyfonních nástrojů jsou druhým extrémem skupiny levnějších nástrojů. Jako typického představitele můžeme uvést konstrukci [15], která je sice poměrně levná, ale technologicky náročná. Sám bych v těchto případech doporučoval konstrukci se zjednodušenou sběrnici (některými možnostmi úprav jsme se zabývali), nebo se sběrnici elektronickou. Příklad kvalitní konstrukce je v [16]. Polyfonní nástroje je vhodné členit do několika samostatných desek, opatřených konektory, nejlépe rozdělených podle základních generátorů. Stavbu

těchto nástrojů je možno doporučit především výkonným hudebníkům, kteří mohou zhodnotit výsledek časově a finančně náročné konstrukce.

Velmi zajímavou aplikaci v orchestru naleznou i jednoduché syntetizéry, i když v amatérské praxi v současné době přicházejí v úvahu především jednohlasé systémy, používané v reálném čase. Mnohé skupiny také tímto způsobem syntetizérů využívají. Sám jsem si ve volných chvílích primitivní systém tohoto typu na stole „uplálal“ a mohu říci, že výsledky jsou skutečně zajímavé. Jako VCO byl použit jednoduchý převodník U/f , jehož návrhem a konstrukcí jsem se zabýval v [18].

Pro toho, kdo se chce levně prakticky seznámit s napětově řízenou syntézou zvukových signálů, je na obr. 67 zapojení, vytvářející efekt šumění moře, mořského příboje. Konstruktérem je J. S. Simonton. Podstata činnosti je velmi jednoduchá a prakticky odpovídá systému, znázorněnému na obr. 61 s tím rozdílem, že řídicí napětí a VCO jsou nahrazeny zdrojem náhodného signálu. Signál působí na okamžité parametry VCF, zde nahrazeného napětově řízenou dolní propustí a VCA, nahrazeného napětově řízeným útlumovým článkem.

Generátor náhodného signálu je vytvářen váhovou kombinací výstupních signálů tří nesynchronizovaných, volně kmitajících a stabilních multivibrátorů. Charakter signálu je upraven nesymetrií a různými opakovacími kmitočty jednotlivých multivibrátorů, jejich různými váhami (R_{13} až R_{15}) a kmitočtovou filtrací (C_7). Tranzistor T_1 pracuje jako generátor šumu, využívá závěrné polarizace přechodu báze-emitor, tranzistor T_2 pracuje jako impedanční oddělovač a zesilovač. Základní nastavení napětově řízené dolní propusti s prvky R_{24} , C_{11} , D_1 , C_{13} je možno upravovat odporovým trimrem R_{34} . Propust, ovládaná napětím z generátoru náhodného signálu, využívá nelineární voltampérové charakteristiky diody D_1 pracující jako napětově ovládaný diferenciální odpor. Při zvětšování řídicího napětí se dioda přivírá, čímž se rozšiřuje přenosové pásmo propustí směrem k vyšším kmitočtům. K tomu, aby byl napodoben také dynamický charakter příboje, slouží VCA s D_2 ; stejným způsobem, tedy různým stupněm otevření diody v závislosti na řídicím napětí je ovlivňována modulační obálka signálu. Výstup zařízení je vhodný pro připojení k zesilovači.

I když je uvedené zapojení spíše hračkou, poskytuje určitou představu o možnostech, jak lze zjednodušit, i když zdaleka ne přesně realizovat některé signály a napětově řízené funkce.

V souvislosti s volbou koncepce je nutno řešit také problémy mechanické konstrukce nástroje. Nejzávažnější z tohoto hlediska je manuál a ovládací, zpravidla kontaktní systém. U manuálu je, kromě jeho vzhledu, dominantního pro estetický vzhled celého nástroje, nejdůležitější především lehký, rovnoměrný a tichý chod kláves ve směru stisku i uvolnění a dokonalé uložení klávesy bez viklání do stran. Z těchto důvodů je výhodné, již vzhledem k řadě dalších problémů, použít klávesnici ze staršího pianu, harmonia nebo akordeonu, které je občas možno poměrně levně odkoupit z opravy těchto nástrojů. Klávesy lze zhotovit i amatérsky, to je však cesta pracná a v běžných podmínkách obvykle i neúspěšná, především co do vzhledu manuálu. Rozměry kláves při zvolení této cesty by měly odpovídat klávesám některého z již zmíněných nástrojů.

Spínací systém je nejvhodnější řešit s relovými spínacími nebo přepínacími kontakty, s tvrdé pokovenými kontaktními ploškami, společně uloženými na tuhé, kovové nosné liště.

Klávesy a kontakty musí být uspořádány tak, aby byl zajištěn dostatečný zdvih kontaktů při stisku a uvolnění klávesy.

Různými způsoby konstrukce manuálu a ovládacího kontaktního systému se podrobněji zabývá literatura [2], [3], [12]. S jedním z možných způsobů, užitým ve vzorku dále popisované konstrukce, se ještě detailně seznámíme.

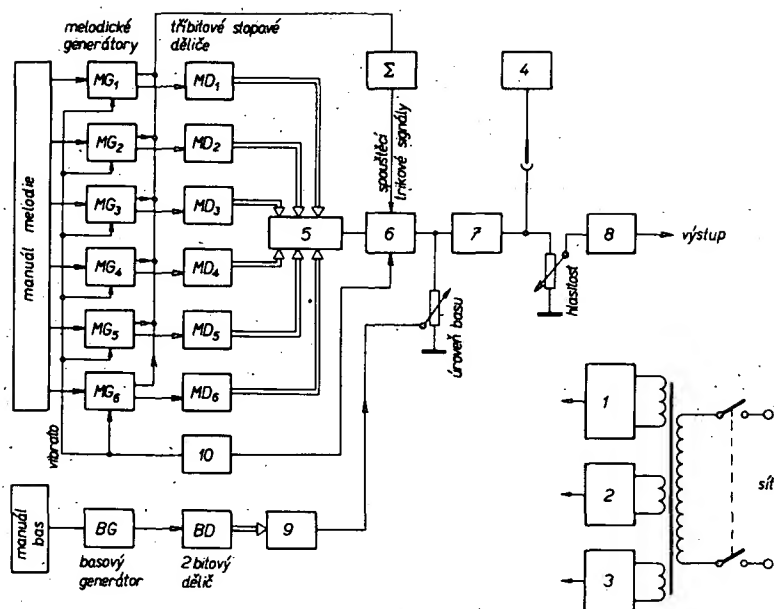
Blokové schéma popisovaného nástroje

V následujících řádcích jsou diskutovány problémy, které vedly k volbě koncepce popisované konstrukce, jejímž cílem je usnadnit relativně širokému okruhu zájemců stavbu elektronického hudebního nástroje.

Při hodnocení kvalitativních parametrů, ekonomické stránky, časové náročnosti a účelnosti byla z řady důvodů vyloučena konstrukce polyfonního nástroje, přestože je technicky bezesporu nejlepším řešením. Aby tento příspěvek splnil svoji úlohu, nemůže být zaměřen pro potřebu několika jednotlivců. Tím ovšem není řečeno, že je popisovaná konstrukce jednoduchá. Stupň přístupuho zjednodušení musí být totiž omezen pouze tak, aby zůstala zachována univerzálnost nástroje, spolehlivost a stabilita spolu s perspektivou dlouhodobého užívání. Bylo tedy mojí snahou navrhnout nástroj „slušných“ parametrů, s nímž je na rozdíl od jednoduchých, nejlevnějších variant možno hrát i složitější skladby, ale omezit přitom problémy stavby, reprodukovatelnosti a stability na minimum. Koncepce nástroje vychází z předpokladu, že je určen pro rekreační, zájmové provozování hudby. Rozhodně by s ním nebyl spokojen profesionální varhaník, ale ten by jej ani nestavěl, protože je zvyklý na své kvalitní (a drahé) „monstrum“ zcela jiné cenové kategorie. Kladem zvoleného řešení jsou naopak minimální rozměry a hmotnost i operativní přizpůsobení k činnosti, čímž v podmínkách běžných bytů odpadají známé problémy „kam s ním“.

Blokové schéma nástroje je na obr. 68. Koncepcí je řešen jako šestihlasý pro pravou ruku s rozsahem $2\frac{1}{2}$ oktávy a jednohlasý pro levou (1 oktáva). Tato, jistě jedna z mnohých variant, byla podrobně diskutována s řadou muzikantů a zdůvodněna dříve. Způsob ovládání nástroje je netradiční a nelze jej beze zbytku srovnat s žádným klasickým klávesovým nástrojem. Má spíše podobnost s hrou na kytaru, kde je také možno hrát v akordických polohách a současně využívat basového doprovodu na spodních strunách. Ve srovnání s klavírem je výrazně zjednodušena koordinace obou rukou, což je výhodné z hlediska techniky hry pro „osobu neškolenou“. O stejné přednosti mne však přesvědčovali i ti, kteří chodili řadu let „do klavíru“. Na druhé straně však možnost součinnosti levé ruky přináší zajímavé obohacení hry, ať již jednoduchým basováním, jiným „melodickým“ vedením nebo rozkládanou hrou. Chtěl bych dodat, že na tento nástroj hraji asi rok a dosud jsem mu ani zdaleka nedokázal sáhnout „na dno“, což bylo také jedním ze sledovaných cílů. Nástroj je vhodný i pro použití v menším orchestru, kde se obvykle hraje pravou rukou v blocích, levá ovládá rejstříky a efekty. Použití je možno najít i v harmonizaci melodie nebo instrumentaci skladby.

Nástroje podobné koncepcce se továrně nevyrábějí. Důvody jsou zřejmé, průmyslová výroba vedle materiálových nákladů je velmi citlivá také na náklady výroby, včetně nastavování, ladění a servisu nástroje. Z tohoto hlediska je zvolená koncepce nevhodná, protože musí být samostatná, na rozdíl od polyfonních nástrojů, laděn každý tón, každá



Obr. 68. Blokové schéma popisované konstrukce elektronického hudebního nástroje (1 – zdroj výkonového zesilovače, 2 – stabilizovaný zdroj ± 12 V, 3 – stabilizovaný zdroj $+5$ V, 4 – externí pedál dynamiky a formantového filtru, 5 – základní melodické registry, 6 – trikové obvody, tremolo, 7 – úroveň zesilovače, 8 – výkonový zesilovač, 9 – basové registry, Σ – součtový logický obvod, 10 – generátor infrazvukového signálu)

klávesa. Stejně závažný důvod je ten, že do nedávné doby nebylo možno realizovat tak stabilní nespojitý generátor, který by zaručoval úspěšný servis. Tento poslední důvod je zřejmě rozhodující pro to, že také amatérské nástroje nebyvají takto řešeny, bývají maximálně čtyřhláse. Aby mohl být naznačený systém realizován, musel být především vyvinut nový systém základních generátorů s velkou stabilitou a dokonalou reprodukovatelností.

Všimněme si znovu blokového schématu na obr. 68: Vícehlásá část je vybavena šesti identickými generátory, vyznačujícími se velkou stabilitou a tím, že znemožňují vznik kliků. Každý generátor je vybaven snímacím tranzistorem, dodávajícím spouštěcí impulsy pro trikové obvody. Celá šestice generátorů může být kmitočtově modulována ze sinusového generátoru infrazvukového kmitočtu (vibrátor). Jednotlivé generátory jsou přes oddělovací spínací obvody propojeny s řetězcem oktávních děličů v integrované formě. Melodická část má čtyři stopy 2', 4', 8' a 16'. Po zpracování v rejstříkových obvodech je signál pravé ruky ovlivňován efektem tremola a trikovými signály (píšťalové náběhy, perkus) s volitelnou časovou konstantou. Úroveň hlasitosti „levé ruky“ vzhledem k „pravé“ může být upravována libovolně. Basový generátor levé ruky je vybaven třemi stopami, čímž je umožněn široký výběr tónové a spektrální kvality, podle povahy skladby nebo aplikace (sólo, orchestr). Úplný signál se zpracovává v úroveň zesilovači, k jehož výstupu lze připojit pedál pro ovládání dynamiky a volbu formantové oblasti. Aby byla umožněna operativní činnost bez dalších přidavných zařízení, je nástroj opatřen vestavěným výkonovým zesilovačem. Je tedy nutno připojit pouze reproduktorovou skříň.

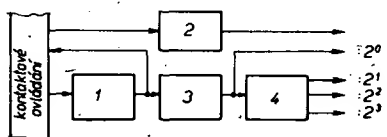
Samozřejmě, že nejsou vyloučeny ani jiné úpravy nástroje, zejména pokud se týká počtu generátorů, koordinace obou rukou, rejstříkových obvodů aj. Tomu je ostatně uzpůsobena i mechanická koncepce nástroje. Pro tyto případné aplikace i pro konstrukci popisované úpravy je důležitá dokonalá znalost funkce a vlastností jednotlivých užitých

obvodů, které se do značné míry liší od ustálené koncepce. Před výkladem funkce bych chtěl znovu připomenout, že i když konstrukce nemá žádná osídlná místa, přesto se jedná o přístroj z elektronického i mechanického hlediska ve srovnání s běžnými např. zesilovači nebo přijímači poměrně složitý, proto je možno doporučit stavbu pouze těm, kdo mají alespoň průměrné znalosti z elektroniky. V žádném případě není možno předpokládat, že případný zájemce o tento druh nástroje, který neví, jak funguje tranzistor nebo IO, dosáhne úspěchu.

Funkce a vlastnosti dílčích obvodů

Základní generátorová jednotka

Symbolické schéma jednotky, generující stopové výšky jednoho tónu, použité v popisované konstrukci, je na obr. 69. V systému nejsou přímo vyznačeny oddělovací kliky. Nejnáročnějším prvkem je vlastní multivibrátor, na který jsou ve srovnání s konvenčními aplikacemi kladeny skutečně mimořádné požadavky. Jejich splnění má základní vliv na kvalitu celého nástroje. Za základní kritéria pro hodnocení generátoru je třeba považovat především dlouhodobou a teplotní stabilitu, snadné ladění jediným prvkem, minimální dobu ustálení kmitočtu, nenáročný ovládací systém, linearitu kmitočtového rozmitání, nezávislost nebo vhodnou kompenzaci kmitočtové stability na tolerancích napájecího napětí, možnost blokování falešných tónů, potlačení kliků, odolnost vůči rušení a vzájemnému rozladování jednotlivých generátorů a dokonalou reprodukovatelnost. Podcenění kteréhokoli z uvedených bodů se

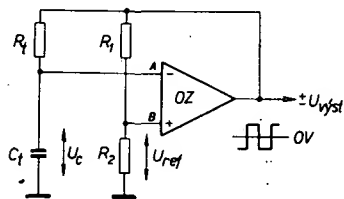


Obr. 69. Blokové schéma melodické generátorové jednotky (1 – astabilní multivibrátor, 2 – spouštěcí trikový výstup, 3 – interface, 4 – integrované stopové děliče TTL)

projeví v komplikovaném řešení následných obvodů nebo na výsledných parametrech nástroje.

Je nutno konstatovat, že běžná zapojení multivibrátorů, užívaná v podobných konstrukcích, nevyhovují především z hlediska reprodukovatelné kmitočtové stability. Důvody jsme se již zabývali. Vhodné aktivní prvky ze sortimentu světových výrobců, jako jsou například timery typu 555 a jiné, jsou běžně nedostupné. Z řady možných řešení bylo jako nejvhodnější zvoleno zapojení multivibrátoru s napěťovým komparátorem, v němž jako aktivní prvek pracuje operační zesilovač OZ. Protože u nás se toto zapojení prakticky nepoužívá a navíc je nedostatečně nebo nevhodně interpretováno, rozebereme si pro dokonalou orientaci jeho zapojení – to osvětlí jeho přednosti.

Ideové schéma multivibrátoru je na obr. 70. Kromě kompenzační kapacity se pro



Obr. 70. Multivibrátor s analogovým diferenčním komparátorem

nastavení určitého kmitočtu používají pouze čtyři prvky, tři odpory a jeden kondenzátor v můstkovém uspořádání. Vstupy OZ jsou zapojeny v úhlopříčce můstku tak, aby invertující vstup byl zapojen na integrační kondenzátor. Napěťová úroveň neinvertujícího vstupu je odvozena děličem R_1 , R_2 z výstupního napětí komparátoru, které skokově přechází z jedné do druhé saturační úrovně. Tímto způsobem se vyrovnává můstek s časovou konstantou $\tau = RC$. Vzhledem k dobrým dynamickým vlastnostem OZ při opakovacím kmitočtu nižším než 5 kHz, velkému napěťovému zesílení A_u , minimálním vstupním proudům a možnému velkému poměru U_{ref} ku vstupní nesymetrii není třeba vůbec přihlížet k detailním vlastnostem OZ: Dokonale vyhoví jakýkoli, i ten nejlevnější typ.

Napětí na invertujícím vstupu se vždy exponenciálně zvětšuje na pravě se vyskytující referenční úroveň na vstupu druhém. Při dosažení rovnosti $U_C = U_{ref}$ se překlápí výstup komparátoru do opačné polohy, tím se mění i polarita U_{ref} a celý pochod se opakuje, rozdíl je pouze v opačné polaritě všech napěťových průběhů. Napětí na integračním kondenzátoru má vzhledem k $U_{ref} \ll U_{vysl}$ přibližně trojúhelníkový průběh, symetrický podle nulové napěťové osy. Kromě velmi dobré kmitočtové stability má zapojení pro praktické účely další vynikající přednost – opakovací kmitočet je za určitých podmínek nezávislý na napájecím napětí. Dokažme si tufo prakticky neznámou vlastnost jednoduchým výpočtem.

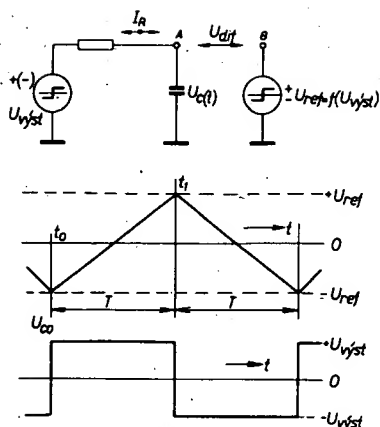
Za předpokladů $A_0 \gg (R_1 + R_2)/R_3$, $U_{vysl}/R_3 \gg$ proudová nesymetrie vstupů,

$$\frac{+U_{vysl}}{-U_{vysl}} = 1,$$

které jsou nebo mohou být vždy splněny, můžeme určit poloviční dobu kmitu jako čas, potřebný k proběhnutí přechodového děje na jednoduchém obvodu RC s počáteční podmínkou $U_{C0} = |U_{ref}|$, viz obr. 71. Rovnice smýškového proudu, odvozená z tohoto obrázku

$$-U_{C0} + I_R + \frac{1}{C} \int i dt = U_{vysl} = 0.$$

(Polarita U_{C0} je vůči odpovídající okamžité hodnotě U_{vysl} inverzní). Derivací rovnice



Obr. 71. Náhradní schéma pro výpočet doby překlopení komparátoru a idealizované průběhy

podle času získáváme lineární diferenciální rovnici prvního řádu s konstantními součiniteli

$$R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = 0,$$

jejímž řešením je

$$i = k e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Integrační konstanta vyplývá jak z fyzikálního pohledu, tak z první rovnice

$$k = I_0 = \frac{|U_{vyst}| + |U_{C0}|}{R}$$

Okamžitá velikost napětí na integračním kondenzátoru v libovolném čase $t < t_1$, viz znovu obr. 71,

$$u_C = U_{vyst} - U_R = U_{vyst} - (U_{vyst} + U_{C0}) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Napětí U_{C0} a U_{C1} jsou vzhledem k diferenciálním vstupům OZ co do absolutní hodnoty velmi přesně shodná.

$$|U_{C0}| = |U_{C1}| = U_{vyst} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Potom z předchozího

$$\frac{U_{vyst} - U_{C1}}{U_{vyst} + U_{C0}} = e^{-\frac{t}{\tau}},$$

$$e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{R_1}{R_1 + 2R_2}$$

Logaritmováním dostáváme výraz pro polo-
viční dobu periody multivibrátoru

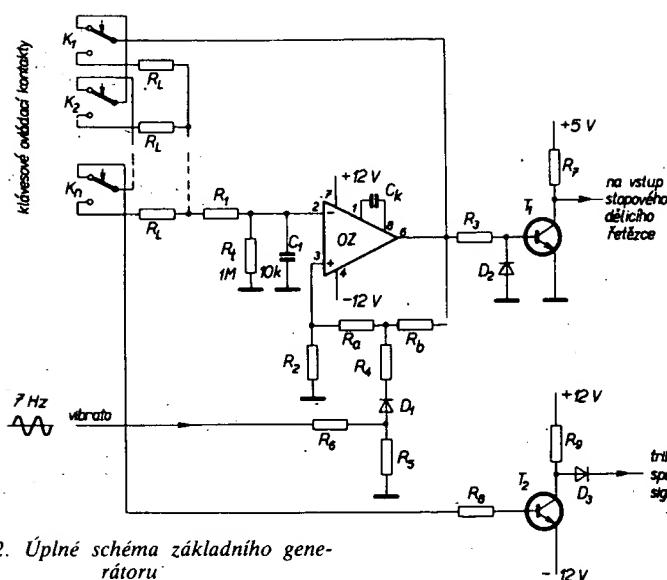
$$t = \tau \ln \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right).$$

Opakovací kmitočet je tedy

$$f = \frac{1}{2t} = \frac{1}{2RC \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right)}$$

Vidíme, že v poslední rovnici skutečně není vyjádřen vliv napětí U_{vyst} a tím samozřejmě ani napětí napájecího. Důvod je zřejmý, obě větve můstku jsou napájeny z jednoho napájecího zdroje, výstupu komparátoru. Jedinou podmínkou pro praktickou aplikaci je, aby obě saturační úrovně výstupu komparátoru byly přibližně symetrické. Tím automaticky musí být symetrické i obě větve napájecího napětí, čehož lze ovšem snadno dosáhnout i jednoduchou parametrickou stabilizací vhodně vybranou dvojicí stabilizačních diod. Absolutní hodnoty napájecího napětí ani jejich teplotní součinitel na opakovací kmitočet nemají žádný praktický vliv.

Abyste mohli být generátor použít v nástroji, je třeba do obvodu vhodně vřadit ovládací kontakty pro volbu okamžitého požadovaného kmitočtu. Z rovnic vyplývá, že nejvhodnější je ovládat časovou konstantu τ při zachování stabilní referenční úrovně. Z konstrukčního hlediska vyplynul dále požadavek



Obr. 72. Úplné schéma základního generátoru

použit spínací kontakty. Činnost je zřejmá z úplného schématu modifikovaného generátoru na obr. 72. Dalším problémem, jehož řešení je patrné ze zmíněného schématu, je jak realizovat kmitočtovou modulaci (vibrato) s ohledem na potřebný kmitočtový zdvih, linearitu a kmitočtovou stabilitu. Zvolil jsem způsob, při němž modulační signál působí na generátor pouze při jedné z referenčních úrovní (obr. 73). Na obr. 73a je idealizovaný průběh napětí na integračním kondenzátoru, odpovídající základnímu zapojení (obr. 70). Obě prahové (referenční) úrovně jsou co do absolutní hodnoty shodné. Bude-li se měnit jedna z nich, např. $-U_{ref}$ (obr. 73b), mění se i opakovací kmitočet generátoru. Protože $U_{ref} \ll U_{vyst}$, je průběh napětí na integračním kondenzátoru velmi blízký lineárnímu, pilotivému, proto i Δt_a , Δt_b jsou při malém zdvihu lineární funkcí ΔU_{ref} . Budeme-li pro zjednodušení uvažovat pouze dobu např. od $-U_{ref}$ do $+U_{ref}$, pak platí (linearizováno)

$$t_{a2} = \frac{t_{a1}}{\sum U_{ref1}} \sum U_{ref2}$$

$$t_a + \Delta t_a = t_a \left(1 + \frac{\Delta U_{ref}}{\sum U_{ref1}} \right)$$

Poměrná kmitočtová odchylka

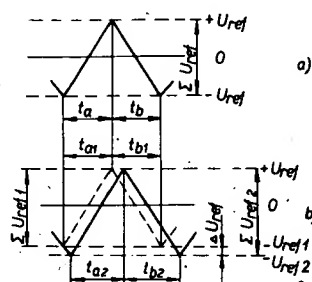
$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta U_{ref}}{\sum U_{ref1} + \Delta U_{ref}}$$

Je-li $\Delta U_{ref} \ll U_{ref}$ (tedy pro malé zdvihy, které připadají v úvahu), je

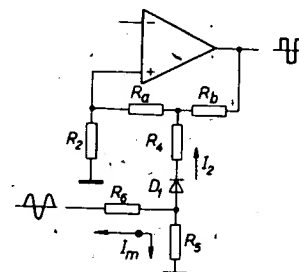
$$\Delta f \approx \frac{\Delta U_{ref} f_0}{\sum U_{ref1}}$$

lineární funkcí napětové odchylky referenčního napětí a tím je také poměrný zdvih $\Delta f/f_0$ v celém rozsahu konstantní.

Praktickou realizaci osvětluje obr. 74. Horní odpor děliče pro získání referenčního napětí je rozdělen na dvě nestejně části, R_a , R_b . Při kladné polaritě referenčního napětí pracuje multivibrátor běžným způsobem, při záporné je dělič navíc zatěžován proudem I_2 , tekoucím smyčkou R_4 , D_1 , R_5 . Referenční úrovně jsou tedy záměrně voleny nesymetrické. Proud I_2 je modulován napětím z generátoru vibrátu, které přes dělič R_6 , R_7 přichází i na diodu D_1 . Dělicími poměry je nastavena úroveň kmitočtového zdvihu a současně upravována teplotní kompenzace, na níž se podílí teplotně závislé čelní napětí diody D_1 . Budící napětí pro kmitočtové rozmitání má velkou úroveň, aby bylo možno využít co největšího dělicího poměru R_6/R_7 a tím zajistit vzájemnou nezávislost jednotlivých generátorů a minimální (nulovou) kmitočtovou odchylku průměrného kmitočtu modulačního generátoru ve srovnání s přesně



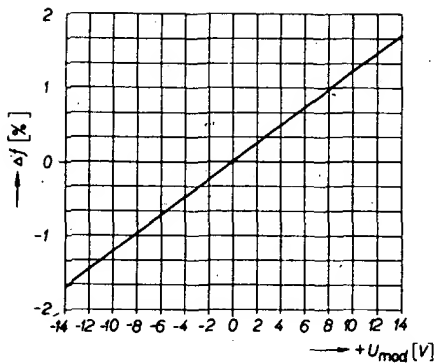
Obr. 73. K popisu kmitočtového rozladování posuvem jedné z referenčních úrovní



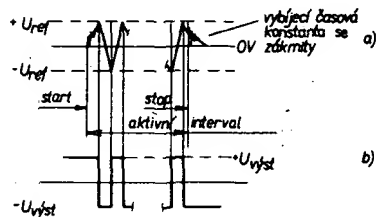
Obr. 74. Detailní úprava modulačního vstupu pro kmitočtové rozmitání

periodickým signálem (vypnutým vibrátorem): Modulační (rozladovací) charakteristika uspořádání podle obr. 72 je na obr. 75. Modulační signál samozřejmě musí mít nulovou stejnosměrnou složku.

Vzhledem k tomu, že žádná generátorová jednotka není vybavena oddělovačem kliků, musí se jejich vzniku zabránit již v základních generátorech. O této možnosti a o problémech, které s takovým řešením souvisí, jsem se již zmínil. Právě uvažované zapojení může však jednoduše potlačit nežádoucí průvodní jevy při klíčování generátoru, což do značné míry kompenzuje větší náklady, spojené s realizací stabilního generátoru. Je nutno zamezit jakýmkoli přechodovým jevům a neperiodickým zákmitům na počátku i při ukončení tónového intervalu z hlediska jak činnosti generátorů, tak mechanického zakmitávání kontaktů. Generátor musí být

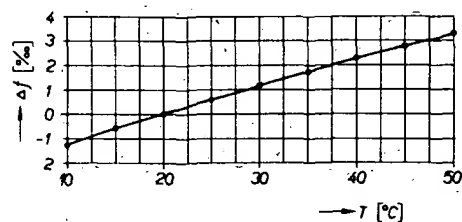


Obr. 75. Modulační charakteristika



Obr. 76. Příklad možných mezních stavů generátorů

přípraven již po uvolnění klávesy k okamžitému generování prvního ze série impulsů, přesnému co do definice časů t_0 , t_1 . Stejně tak při ukončení tónového intervalu se nesmí v této oblasti vyskytnout impuls s jinou dobou trvání, než jaká odpovídá generovanému kmitočtu. Právě k tomuto účelu je možno využít výstupního napětí OZ, které se pohybuje mezi kladnou a zápornou saturační úrovní. Je třeba pouze zajistit, aby na výstupu generátoru bylo při vypnutí v kterékoli poloze a v kterémkoli okamžiku stejné výstupní napětí jako před vypnutím. Na výstupu generátoru tedy nesmí být nějaká definovaná základní nebo klidová úroveň napětí, na níž by se generátor vracel nebo kolem níž by zakmitával apod. Klidové výstupní napětí OZ naopak musí být náhodné, odvozené pouze od stavu, za něhož byl generátor vypnut. Této bistabilní činnosti je nutno dosáhnout i tehdy, uvažujeme-li zakmitávání jazýčkových kontaktů, vliv modulačního signálu vibrata a změny zatěžovacího proudu výstupu OZ. Je možná překvapující, že všechny uvažované požadavky je možno zajistit jediným odporem R_1 , přemostujícím integrační kondenzátor (obr. 72). Tento paralelní článek RC má jedinou funkci – zajistit s určitou požadovanou časovou konstantou vybití kondenzátoru C_1 na nulové napětí. Tím je zaručeno, že výstup OZ setrvá v tom stavu, v jakém byl v okamžiku uvolnění klávesy. Vlivem zakmitávání kontaktu se sice integrační kondenzátor nabíjí krátkými impulsy, ty se však vzhledem k vybíjecí časové konstantě $R_1 C_1$ neuplatní a nestačí obvod přepoklopit. Pro všechny běžné typy kontaktů,



jaké jsem měl možnost ověřit, s rezervou vyhovovaly hodnoty, uvedené na obr. 72. Úprava zapojení má také příznivý vliv na stabilitu generátoru díky poměru $I_{R1} \gg I_{inv}$. Činnost generátoru a jeho mezní stavy při uvádění do aktivního nebo pasivního režimu, včetně přípravy počátečních podmínek prvního impulsu, vyplývají z obr. 76.

Popsané zapojení umožňuje vzhledem k velké vlastní stabilitě a snadnému ladění s velkou rozlišovací schopností vyloučit jinak nezbytné ladící odporové trimry – ve vzorku byly jednotlivé tóny nastavovány paralelní kombinací vždy dvou výběrových odporů. Tím byly především odstraněny nestabilní prvky, jakými trimry bezpodmíněně jsou, a dále byly omezeny náklady a požadavky na zástavbový prostor. Úprava, i když je u hudebních nástrojů zcela výjimečná, se plně osvědčila.

Realizovat generátor s kmitočtovou stabilitou řádu 10^{-3} v oboru běžných teplot a klimatických podmínek samozřejmě vyžaduje určitá technologická opatření. Základním předpokladem reprodukovatelnosti je především nutnost dodržet hodnoty a typy součástí, uvedených v seznamu součástek. Se způsobem kontroly OZ se ještě dále seznámíme. Odpory jsou (s přihlédnutím k vlastnostem a dostupnosti) typu TR 152. Jako vhodný typ kondenzátoru C_1 se osvědčil jediný typ, dostupný běžně v maloobchodní síti – terylenový Remix. Na teplotní kompenzaci se kromě zapojení, úrovně referenčního napětí výběru prvků atd. podílí především teplotně závislé čelní napětí diod D_1 , D_2 a tranzistoru T_1 . Kompenzace je vzhledem k dobré vlastní stabilitě systému nenásilná a vztažena především k integračnímu kondenzátoru. Tímto způsobem byl dosažen reprodukovatelný teplotní součinitel kmitočtové odchylky $+1 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$.

Závislost opakovacího kmitočtu generátoru na teplotě prostředí je na obr. 77, vliv změny napájecího napětí na kmitočet na obr. 78. Teplotní kompenzace, způsob výběru a formování některých součástí byly ověřovány měřením v improvizované teplotní komoře a teplotními šoky v rozsahu -10 až $+70^\circ\text{C}$. Dlouhodobá stabilita byla kontrolována průběžně na vzorku a po asi půl roce provozu nástroje, identifikované nepatrné odchylky souvisely spíše s odlišnou teplotou prostředí.

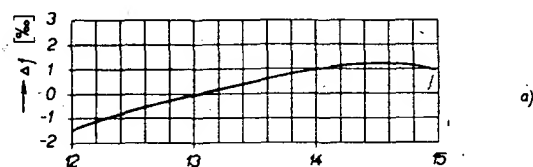
Využití obou klidových úrovní $\pm U_{ysa}$, v nichž obvod setrvává zcela náhodně, ztěžuje při respektování požadavku jednoduché spínací soustavy odvození spouštěcích impulsů pro trikové obvody. V tomto ohledu je u každého generátoru nutno „zaplatit daň“ v podobě jednoho tranzistoru, zapojení je zřejmé z obr. 72. Ovládací systém využívá přepínacího kontaktu u každé klávesy, čímž se jednak zajišťuje požadavek – blokování vzniku falešného tónu a jednak umožňuje i ovládat trikový výstup. V klidové poloze je

sériovým propojením všech horních kontaktů připojován výstup OZ na proudové buzení spínač s tranzistorem T_2 . Jeho činnost je založena na skutečnosti, že výstupní napětí OZ je vždy menší, než napájecí ($\pm U_{ysa} < \pm U_k$). Bližší pochopení vyplývá z rozboru vnitřní struktury výstupního obvodu OZ. Míra zmenšení napětí je funkcí zatěžovacího odporu R_L . Touto cestou je tranzistor trikového výstupu v klidovém režimu buzen vždy do saturace, nezávisle na úrovni výstupního napětí. Při stisku klávesy, příslušející uvažovanému generátoru, přeloží se kontakt do spodní polohy, čímž se rozpojí obvod báze tranzistoru T_2 , který se zavírá. Z obou uvažovaných stavů vyplývají základní požadavky na vlastnosti tranzistoru: velký činitel β a $U_{CE0} > 30$ V. Protože při pracujícím generátoru je kolektorové napětí tranzistoru kladné, rovné napájecímu, je možné sloučit trikové výstupy všech melodických generátorů jednoduchou diodovou součtovou logikou. Napětová úroveň tohoto společného výstupu je omezena stabilizační diodou ZD_1 , čímž je odstraněna závislost výstupního napětí na počtu právě pracujících generátorů. Navazující trikové obvody tedy reagují buď na jednotlivé tóny, hrané staccato, nebo na první ze série vázaných či akordických tónů. Spolehlivost uvedeného uspořádání je dokonalá a teplotně nezávislá.

Součástí každé generátorové jednotky je kromě základního generátoru a výstupu pro tvorbu trikových signálů řetěz kmitočtových (oktávových) děličů pro získání příslušných stopových výšek. V popisované konstrukci je nutno kromě obvyklého oddělení generátoru a prvního děliče, zabraňujícího zpětnému působení, zajistit také převod různých napětových úrovní výstupu OZ a vstupu TTL. Oba problémy je možno vyřešit použitím diody D_2 , zabraňující překročení přípustného napětí v závěrném směru U_{EBmax} tranzistoru v interface. Z kolektoru tohoto tranzistoru je již odebírán stopový signál $2'$. Vlastní nástroj je v melodické části čtyřstopový. Pro získání zbývajících tří stop je užito čtyřbitového integrovaného děliče MH7493, jehož vnitřní organizace je typu $1 + 3$ (tj. samostatný děličí stupeň a tříbitová kaskáda B. C. D). Výstupy jsou vždy typu Q, pro melodickou i basovou část je zapotřebí celkem pět pouzder. Skupina B. C. D jednotlivých pouzder je využita vlastními generátorovými jednotkami, tedy celkem pětkrát, šestému melodickému generátoru přísluší kaskáda děličů A, vytvořená ze zbývajících obsahu tří pouzder. Konečně zbývajících dva stupně A jsou využity basovou jednotkou, čímž je umožněna široká variabilita basového doprovodu co do oktávové výšky a zvukového zabarvení. Základní basový generátor se kromě toho, že není opatřen modulačním vstupem pro vibrato a trikovým výstupem, koncepčně nijak neliší od již popsaného řešení.

Použití IO v dělicích stupních je vhodné.

Obr. 77. Průměrná teplotní závislost kmitočtové odchylky



$\pm U_H$ [V]	$-U_H$ [V]	Δf [%]
12	12	0
12	12,5	+1,7
	13	+3,2
12,5	13,5	+4,6
	14	-1,7
13	12	-3,9
13,5	12	-6,1

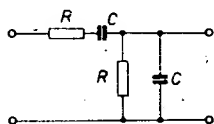
Obr. 78. Kmitočtová stabilita a napájecí napětí; a) průběh kmitočtové odchylky v závislosti na změnách přesně souměrného napájecího napětí, b) vliv nesymetrie

spolehlivé, jednoduché a zabírá málo místa, i když jsou velmi drahé. V krajním případě je možno nahradit MH7493 obvody MH7474, pak je účelné upravit melodickou část na třístopovou, čemuž odpovídá potřeba celkem sedmi pouzder 7474. Dále je možno vypustit děliče z basové jednotky. Taková řešení jsou ovšem nouzová, avšak možná. V žádném případě bych však děliče nedoporučoval stavět s diskrétními prvky, v dnešní době je to již skutečně technický anachronismus.

Generátor infrazvukového modulačního signálu

Jeho účelem je tvorba modulačních signálů pro vibrato a tremolo. Koncepce kmitočtového rozmitání, zvolená u základních melodických generátorů, vyžaduje modulační signál symetrického průběhu s nulovou ss složkou. Pak je možno snadno splnit požadavky na minimální rozladění signálu průměrného generovaného kmitočtu při různých modulačních zdvích od nuly do maxima. Z tohoto hlediska se jako nejvhodnější jeví přímá vazba modulačního a modulovaného generátoru; zajistit vazbu obvyklým zapojením infrazvukového generátoru s fázovacími články je však nemožné, protože požadujeme modulační signál symetrický kolem nulové napětové osy.

Pro praktickou konstrukci bylo zvoleno zapojení oscilátoru RC s Wienovým článkem. Jak můžeme snadno odvodit, Wienův článek (obr. 79) má napětový přenos

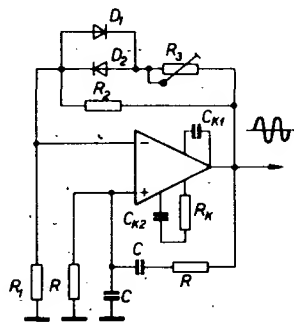


Obr. 79. Wienův článek

$$F_w = \frac{1}{3 + j\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

kde $\omega_0 = \frac{1}{RC}$. Platí-li $\omega = \omega_0$, pak přenos

$F = 1/3$. Na tomto rezonančním kmitočtu má přenosová fázová charakteristika posuv 180° , vhodný pro splnění zpětnovazební oscilační podmínky. Aby měly harmonické kmity malé zkreslení, je nutné, aby součin βA nebyl větší než jedna. Zvolíme-li činitel β rovný přenosu Wienova můstku, tj. $1/3$, pak potřebné zesílení A , aktivního prvku musí být přesně 3. Zesílení se u těchto oscilátorů proto kompenzuje ve smyčce záporné zpětné vazby, obvykle prvky s relativně velkou časovou konstantou (termistor, žárovka). To však má u velmi nízkých kmitočtů nežádoucí vliv na stabilitu a zkreslení signálu. Stačí si jistě uvědomit, že u většiny tónových generátorů tohoto typu je dolní



Obr. 80. Zapojení modulačního generátoru (7 Hz) s Wienovým článkem a diferenčním zesilovačem

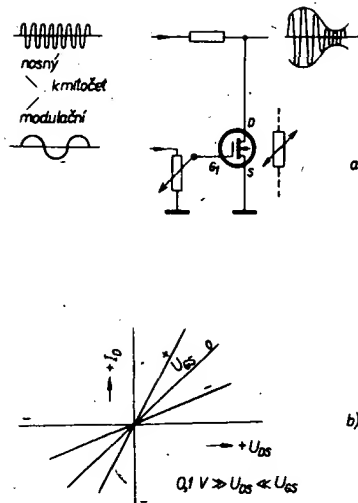
kmitočet v rozsahu 10 až 20 Hz. Z těchto důvodů je vhodnější, při zachování požadavků na kvalitu signálů, použít nelineární zpětnovazební smyčku. Schéma takto modifikovaného oscilátoru s OZ je na obr. 80, Wienův článek je zapojen ve smyčce kladné zpětné vazby. Záporná zpětná vazba má dvě charakteristické smyčky. První, základní, je upravena odpory R_1 , R_2 tak, aby reálné zesílení ze strany neinvertujícího vstupu bylo pro velmi malé výstupní úrovně větší než 3. Tím je bezpečně splněna podmínka oscilací. Při vyšších úrovních (přibližně při $U_{\text{vst}} > \pm 0,6$ V) se zesílení aktivního prvku zmenšuje druhou, paralelní větví R_3 , D_1 , D_2 ve smyčce záporné zpětné vazby. Změnou odporu R_3 lze ovládat amplitudu výstupního signálu při zachování spolehlivé činnosti, což klasickou cestou není možné.

V konkrétní konstrukci byla použita tlačíková volba oscilační amplitudy ve třech stupních. Navíc při rozpojení všech tlačítek (vyřazení nelineární regulační smyčky) je možno získat výstupní signál přibližně lichoběžníkovitého průběhu (výrazně omezená sinusovka), který je pro některé aplikace zajímavý. Výstupní signál oscilátoru se užívá jak pro vibrato, tak pro tremolo s pevně nastaveným kmitočtem asi 7 Hz. Oba efekty je možno vypínat, užívat samostatně i v kombinaci. Se zapojením není třeba experimentovat, pracuje na první spuštění. Pouze jednotlivé úrovně výstupního napětí si musí upravou odporů R_{168} až R_{170} (obr. 87 s. 117) nastavit každý podle svého vkusu. Zapojení dává předpoklady i k jiným úpravám, o nichž jsme se již zmínili, včetně přeladování atd. Za úvahu pak stojí i modifikace s jediným ovládacím prvkem (Hallův, Wiganův můstek) aj. Já však tyto komplikace považuji vzhledem k požadovaným vlastnostem nástroje za neúčelné.

Tvorba komplexního signálu

Přestože základní koncepce nástroje je založena na jistých omezeních, neznámá to v žádném případě, že tato skutečnost má být univerzální výmluvou, zdůvodňující horší parametry nástroje. Naopak, jediným důvodem této volby je umožnit stavbu solidního nástroje i méně zkušeným a méně majetným konstruktérům, při vytěžení maxima možností, které systém skýtá.

Nástroj tohoto typu může konkurovat i mnoha složitějším nástrojům, např. kvalitou, rozsahem a pohotovostí volby zvukových zabarvení. Amatérská realizace jakostních rejstříků je komplikována nedostupností pohotovost a přehledných ovládacích prvků pro rejstříkové sklopné přepínače, problémy s reprodukovatelností formantových filtrů, s přeslechy, odstupy rušivých signálů a polí. Při návrhu konkrétního řešení jsem přihlížel i ke způsobu hry. Je evidentní, že levá ruka má kromě ovládání rejstříků již tak dost práce s basovým manuálem, ovládáním efektů a triků. Aby mohl být nástroj plně využíván, je preferován požadavek výrazného ovládání dynamiky a formantové polohy pedálem. Proto jsou obvody zvukového zabarvení rozděleny do dvou víceméně samostatných obvodů. Zde si všimneme prvního z nich, obvodu tvorby komplexního signálu. Jeho základem je lineární slučování stopových výšek jednotlivých generátorů. Poměrně úrovně jednotlivých stop je možno libovolně upravovat pomocí balančních tahových potenciometrů, každé stopě dále přísluší jednoduchý vypínatelný filtr RC, jehož pohotovým vybavením lze upravit původní pravouhlý průběh na přibližně trojúhelníkovitý (s exponenciálními náběhy). Nastavením prvků, upravených na ovládacím panelu do přehledného celku, je v širokém rozsahu upravováno spektrální složení signálu, posouván znející rozsah atd. Je třeba dodat, že

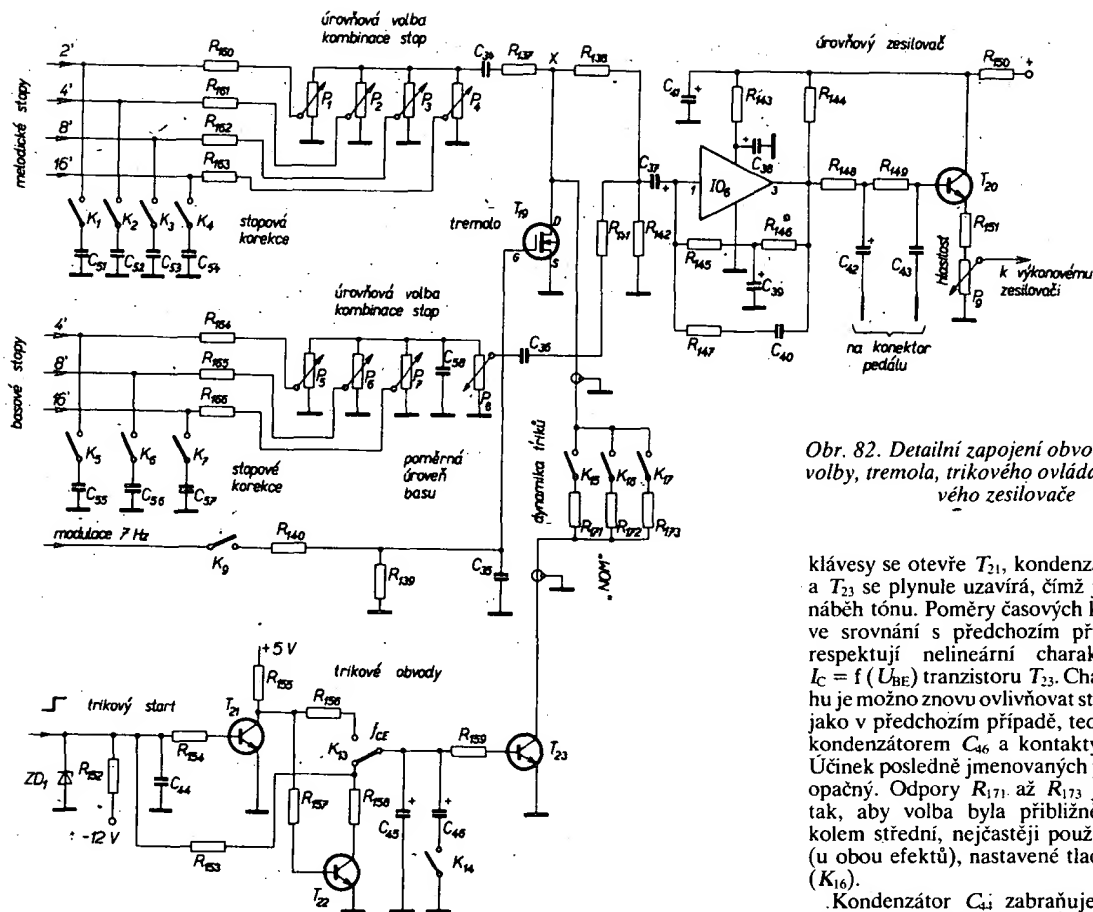


Obr. 81. Využití parametrické modulace AM pro tvorbu tremola; a) základní uspořádání (tranzistor MOSFET s vodivým kanálem), b) triodová (lineární) oblast výstupních charakteristik tranzistoru

i když tato úprava sama o sobě umožňuje výběr řady zvukových zabarvení, není vhodná pro pohotový způsob volby a také akustický projev nástroje není vytříbený, chybí mu malebnost a ušlechtilost. Proto jejím smyslem je především příprava vhodného spektrálního složení signálu pro korekční a formantové obvody pedálu, což zcela mění situaci. V tomto případě je pak třeba jen málokdy měnit nastavení tahových regulátorů a tlačítek během hry, převážná většina zásahů do charakteru zvukového zabarvení se děje pedálem. Protože druhá, pedálová, regulace působí vlastně na úplný, komplexní signál, využívá nástroj jak registrové syntézy, tak selektivního výběru, jejichž vzájemnou součinnost je možno ovlivňovat. Tím bylo dosaženo širokého rozsahu zvukových zabarvení při pohotovém ovládání a jednoduché konstrukci. Funkci pedálové části si popíšeme dále.

Tremolo, trikové obvody

Komplexní signál melodické části, odebraný ze společného výstupu balančních stopových regulátorů, je nejprve podroben amplitudové modulaci obálky, čímž je vytvářeno tremolo (obr. 81). Modulace je parametrická, používá se polem řízený tranzistor, pracující v 1. a 3. kvadrantu výstupních charakteristik v triodové oblasti. Parametrem je úroveň polarizačního napětí hradla. Tranzistor tedy pracuje jako řízený odpor, jehož okamžitá hodnota se ovládá generátorem infrazvukového kmitočtu. Hlubokku modulace je možno ovládat v širokých mezích úrovní modulačního napětí – příkladem může být napětový dělič na obr. 81. Pro lineární a symetrickou modulaci musí být akustický signál zbaven ss složky, nejlépe kapacitní vazbou. Dalšími požadavky jsou především vhodné imedanční přizpůsobení modulačního obvodu rozsahu změn odporu kanálu elektroda D – elektroda S (kolektor – emitor) a minimální úroveň modulovaného signálu je zaručena automaticky, respektováním požadavku lineární kompozice signálů jednotlivých stop a generátorů. Účinnost tremola je stejně jako u vibrata ovládána



Obr. 82. Detailní zapojení obvodů registrové volby, tremola, trikového ovládání a úrovně zesilovače

klávesy se otevře T_{21} , kondenzátor se vybíjí a T_{23} se plynule uzavírá, čímž je upravován náběh tónu. Poměry časových konstant jsou ve srovnání s předchozím případem jiné, respektují nelineární charakter proudu $I_C = f(U_{BE})$ tranzistoru T_{23} . Charakter náběhu je možno znovu ovlivňovat stejnými prvky jako v předchozím případě, tedy přidáním kondenzátorem C_{46} a kontakty K_{15} až K_{17} . Účinek posledně jmenovaných prvků je však opačný. Odporů R_{171} až R_{173} jsou vybrány tak, aby volba byla přibližně symetrická kolem střední, nejčastěji používané polohy (u obou efektů), nastavené tlačítkem NOM (K_{16}).

Kondenzátor C_{41} zabráňuje přeslechům spouštěcích signálů, které by se mohly přenášet do úrovně zesilovače, je omezovala strmost jejich náběhových hran a vyzářovaná amplituda.

Po uvedeném zpracování se na odporu R_{142} slučují signály melodické a basové části, dále zpracovávají společně. Hlasitost „levé ruky“ může být vzhledem k pravé libovolně nastavena tahovým logaritmickým regulátorem. Nastavený poměr již zůstává zachován.

Vibrato, tremolo i trikové efekty působí pouze na manuál pravé ruky, jak odpovídá přirozenému citění.

Úrovně zesilovač

Pro zpracování signálu výkonovým zesilovačem je ho nutno nejprve mnohonásobně zesílit, o čemž si lze učinit představu jednoduchou úrovně rozvahou. S velkým napětovým zesílením bývají spojení některé problémy, ať již s nastavením obvodu, zakmitáváním nebo stabilitou. V každém případě je pro naše použití nutno požadovat především velké zesílení, relativně přesně definované a reprodukovatelné, vhodnou přenosovou charakteristiku a zanedbatelné přechodové zkreslení. Tím je při potřebné úrovni zisku vyloučena možnost použít levný OZ. Současně nesmí rozkmit napětí na výstupu v žádném případě přesáhnout úroveň ± 5 V, což je požadavek s ohledem na výkonový zesilovač. Na základě uvedených požadavků bylo zvoleno jednoduché zapojení s integrovaným obvodem IO_6 (MAA125), který má pro tyto účely vhodné vlastnosti. Velký napětový zisk obvyklých zapojení ($A_v > 70$ dB), který bývá zdrojem obtíží, je v uvedeném zapojení naopak jednoduše využít k dosažení relativně velkého a reprodukovatelného zesílení. Zapojení je rovněž na obr. 82. Má především dvě smyčky záporné zpětné vazby, stejnosměrnou a kmitočtově nezávislou. Zesilovač má na vstupu vazební kondenzátor, aby bylo možno nastavit lineární režim obvyklou proudovou ss vazbou. Rozdíl proti běžným úpravám je

tlačítkovou volbou. Praktické uspořádání obvodu je na obr. 82.

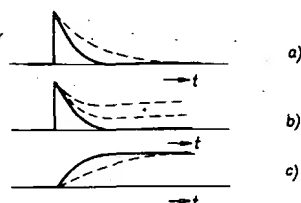
Do stejného bodu jako elektroda D (kolektor) KF520 je zapojen i kolektor T_{23} , pracující jako ovládací výstup trikového obvodu, tvořeného tranzistory T_{21} a T_{22} .

V klidovém stavu, kdy jsou uvolněny všechny klávesy melodické části, je T_{21} zavřen, jeho báze má závěrné předpětí $-0,6$ V, určené proudem ze zdroje -12 V přes odpor R_{152} stabilizační diodou v propustném směru (obr. 82). Na kolektoru T_{21} je tedy kladné napětí. Tranzistor T_{22} je v klidu naopak otevřen, na jeho kolektoru je přibližně nulové napětí. Podle polohy kontaktu K_{13} je možno hodnotit výchozí stav trikového obvodu, určený napětím na kondenzátoru C_{45} , které definuje proud kolektorovým obvodem T_{23} a tím i míru přidávajícího tlumení modulačního obvodu (bod X).

Uvažujme nejprve, že je kontakt K_{13} v dolní poloze. Při stisku první klávesy je příslušným trikovým obvodem odpovídajícího generátoru vybaven spouštěcí impuls, který přes součtovou diodovou logiku a po omezení na Zenerovo napětí stabilizační diody způsobí změnu režimu tranzistorů T_{21} a T_{22} ; T_{22} se zavírá, kondenzátor C_{45} se nabíjí s počáteční časovou konstantou $\tau_0 \approx R_{153}C_{45}$ na kladné napětí (přibližně $+4$ V). Vybavovací tranzistor T_{23} pracuje v neobvyklém režimu. Pokud je trikový obvod pasivní, neuplatňuje se, protože při $U_b = 0$ nemůže být při kolektorovém napětí $U_{CE} \ll 0,6$ V žádným způsobem aktivován. Kolektorové napětí je však střídavé, mění svoji polaritu vůči nulové ss úrovni. V aktivním stavu tranzistor podle polarity okamžitého signálu pracuje jak v běžném, tak i inverzním režimu, směr kolektorového proudu je různý. Proto-

že v našem případě $U_{CEmax} \ll U_{BEakt}$, je možno vhodnou úpravou odporů modulačního obvodu a především jeho symetrií dosáhnout obousměrné lineární regulační charakteristiky trikového efektu (kterým je v uvažovaném případě perkuse – tón ostře zazní a je-li klávesa držena, zvolna doznívá). Kolektorový proud je nelineární funkcí U_{BE} , což přispívá k dosažení přirozeného, exponenciálního charakteru poklesu dynamiky. Kontaktem K_{14} je možno přiřadit k obvodu, určujícímu časovou konstantu, další kondenzátor (C_{46}), a tím prodloužit dobu dozívání (obr. 83a). Současně je možno tlačítkovou volbou upravovat úroveň dozívání ve třech stupních (sériovými odpory v kolektorovém přívodu T_{23}), průběhy jsou na obr. 83b. Při uvolnění klávesy se kondenzátor vybíjí s časovou konstantou $\tau_1 \approx R_{158}C_{45}$, která je přibližně třicetkrát kratší než nabíjecí. Tím je bezprostředně po uvolnění klávesy obvod znovu připraven k činnosti.

Přeložením kontaktu K_{13} do horní polohy dochází k záměně funkce, tón zvolna „nabíhá“ (jako u jazyčkových nástrojů, obr. 83c). Je to logické – v klidovém stavu je T_{21} uzavřen, integrační kondenzátor C_{45} je nabit a ovládací tranzistor T_{23} je otevřen. Po stisku



Obr. 83. Časové průběhy trikových efektů; a) perkuse, b) volba dozívání, c) náběh

pouze ten, že ve smyčce zpětné vazby není odporový trimr, ale vybraný odpor R_{146} , kterým je možno kompenzovat tolerance jednotlivých obvodů. Pracovní bod zesilovače IO₆ se nastaví tímto odporem tak, aby klidové napětí na výstupu (vývod 3) bylo přibližně polovinou napájecího napětí. Je-li $R_{142} \ll h_{11}, R_{148} \gg R_{144}$ a mají-li všechny uvažované prvky reálný charakter, pak není třeba řešit problémy stability. Napětový zisk je s několika procentní přesností roven poměru R_{147}/R_{142} , pokles dolní části přenosového pásma je určen časovou konstantou $R_{31}C_{37}$, horní mezní kmitočet, který je řádu stovek kHz a nemusí být uvažován s parametry IO. Bude-li rozkmit výstupního napětí užíván v rozsahu výrazně menším než 0 až U_k , je i lineární zesilovač při $A_0 \ll A_0$ zcela vyhovující.

Výstup úrovně zesilovače je přes odpory R_{148} a R_{149} , které jsou dílčími a oddělovacími prvky externích obvodů ovládání dynamiky a formantové oblasti, veden na emitorový sledovač s T_{20} . Jeho účelem je zajistit široký rozsah regulace pedálových funkcí a jejich vzájemnou nezávislost, což se vztahuje i na základní regulátor hlasitosti nástroje, kterým je tahový logaritmický potenciometr, zapojený jako emitorový odpor zmíněného sledovače. Z běžce potenciometru je kapacitní vazbou přiváděn upravený signál již přímo do výkonového zesilovače. Před jeho popisem si však nejprve povíme elektrického řešení obvodů pedálu, tedy regulátoru dynamiky a korekční, popř. formantové oblasti.

Elektronika pedálu

Pedálové ovládání dynamiky a zvukového zabarvení nebývá u levnějších nástrojů časté. Přitom právě ve vybavení těmito funkcemi spočívá výrazná přednost elektronických nástrojů před klasickými. Především jednoduché nástroje (u nichž není možno předpokládat, že by byly běžně využívány s doplňkovými zařízeními jako je dozvuk, ozvěna apod.), by měly být na rozdíl od běžné praxe jimi vybaveny. Předpokladem dobrého výsledku je především spolehlivost a dostatečně široký rozsah obou regulací. Elektrické schéma pedálu použitého v popisované konstrukci je na obr. 84. Regulace dynamiky je řešena způsobem, o kterém jsme se již zmínili – optoelektronickým regulátorem s pohyblivou clonou. Tvarem clony je možno libovolně upravovat průběh regulace podle zvoleného mechanického způsobu ovládání.

Pedálový regulátor je dále druhou nedílnou součástí obvodů zvukového zabarvení nástroje. První, určenou pro přípravnou nebo méně často používanou regulaci, pracující na principu registrové variety, jsme se již zabývali. Získaná široká variabilita spektrálního obsahu signálu je předpokladem pro velmi dobrou činnost pedálu, která je účelovou modifikací selektivního výběru. Korekční nebo formantový článek působí v popisovaném zařízení na úplný signál. Protože základní kmitočtové polohy melodické a ba-

sové části nástroje jsou značně vzdáleny a při regulaci požadujeme, aby bylo zachováno odlišné zvukové zabarvení, musí být přenosová charakteristika korekčního článku relativně složitá. Při rozboru vlivu formantových oblastí na zvukové zabarvení snadno zjistíme, že kromě polohy formantové rezonance má výrazný vliv i její účinnost. Z hlediska regulátoru je zájem především o výrazná zabarvení. Ověřil jsem si, že při méně výrazné rezonanci je možno formantový filtr dobře simulovat jednoduchým článkem RC. Toho je využito při návrhu pedálu (obr. 84). Při sepnutém spínači se využívá přeladování formantové rezonance – tak lze získat výraznou řadu zvuků, seřazených v přirozené návaznosti. Přenosové charakteristiky v závislosti na právě zařazeném kondenzátoru jsou na obr. 85a. Z grafu vyplývá, že melodická i basová složka signálu jsou ovlivňovány různě. Navíc se posouvá i minimum přenosové charakteristiky, čehož lze využít např. k simulování charakteru strunných nástrojů. Je-li spínač S_1 rozpojen, jsou odpovídající přenosové charakteristiky na obr. 85b. Charakter signálu při ovládání v této poloze je plnější a bohatší, zvukové zabarvení je však typické pro elektronický nástroj. Po určité době nabytku je možno pohotově a plynule volit nejrůznější zvuková zabarvení.

Formantový pedál lze ovládat buď přepínačem (řadičem) spráženým se šlapkou, nebo jazyčkovými kontakty, ovládanými pohyblivým trvalým magnetem. V druhém případě je nutno tvarem magnetu nebo jeho pólového nástavce zajistit, aby byl vždy sepnut alespoň jeden magnet. Tím je zajištěn spojitý charakter ovládání.

Celkové uspořádání obvodů zvukového zabarvení je mými přáteli – hudebníky oceňováno kladně a s časovým odstupem je ho možno doporučit. Předností z hlediska konstrukce je mimo jednoduchost i fakt, že formantové korekce ovlivňují signál velké amplitudy, čímž zcela odpadá obvyklé problémy s potlačením přeslechů a rušivých signálů. Předností je i snadná reprodukovatelnost, protože v celém systému je použita jediná cívka.

Součástky v pedálu

Kondenzátory

C_1	68 nF, TC 180
C_2	22 nF, TC 181
C_3	10 nF, TC 183
C_4	4,7 nF, TC 184

Žárovka 6 V/50 mA

fotodioda R_f 1,5 k Ω , WK 650 37

jazyčkové kontakty K_1 až K_4 , VNFR 817, nebo libovolné z výprodeje

S_1 libovolný spínač

formantová indukčnost L_1 – vinuta na kostře z výprodejního transformátoru s plechy EI, průřez jádra

10 × 6 mm, drátem o \varnothing 0,125 mm CuL byla původní kostrička vyplněna bez prokládání; cívka má pouze tři vrstvy krycího izolačního papíru; indukčnost tlumivky je asi 0,8 až 1 H.

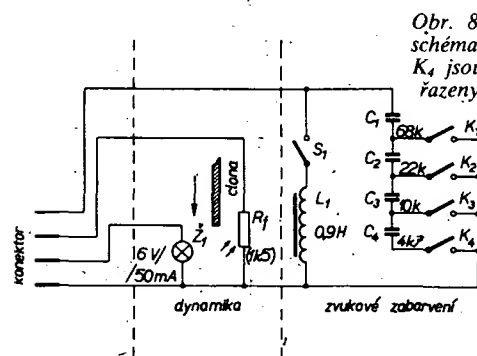
Výkonový zesilovač

Nástroj má vlastní výkonový zesilovač. Názory na nutné vlastnosti tohoto stupně se v mnoha ohledech rozcházejí: pokud jde o výstupní výkon, považují za minimální (vzhledem k dynamice) u vícehlasých a polyfonních nástrojů k domácímu užívání výkon alespoň 10 W (sinus). Kmitočtový rozsah by měl být minimálně asi 30 až 10 000 Hz/3 dB, sám o sobě není kritický, je však obvykle v přímé souvislosti se zkreslením signálu, které je vůbec nejdůležitějším parametrem zesilovače (především přechodového a intermodulačního zkreslení). K běžným požadavkům patří stabilita a spolehlivost zesilovače včetně odolnosti vůči zkratu na výstupu. V souhrnu je možno konstatovat, že požadavky na výkonový zesilovač jsou prakticky v souladu s normami pro zařízení Hi-Fi. Lze tedy použít některý z řady známých zesilovačů. Ve vzorku pracuje zesilovač, který jsem podrobně popsal v [17]. Dále popisované zapojení je jednou z možných úprav zesilovače, jedná se o symetrický dvojčinný zesilovač s přímou vazbou na zatěžovací impedanci, napájený z nestabilizovaného zdroje (obr. 86).

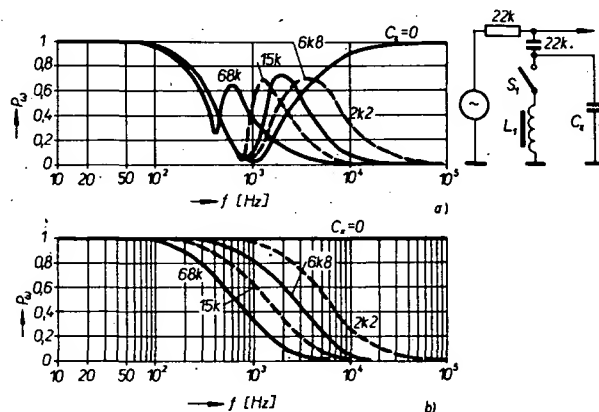
Aktivním prvkem napětového zesilovače je OZ s velkým základním zesílením A_0 . Protože reálný zisk zpětnovazebního systému je malý – ve středu přeneseného pásma je přesně definován poměrem

$$A_0 \text{ [dB]} = 20 \log \left(\frac{R_{122} + R_{120}}{R_{120}} \right),$$

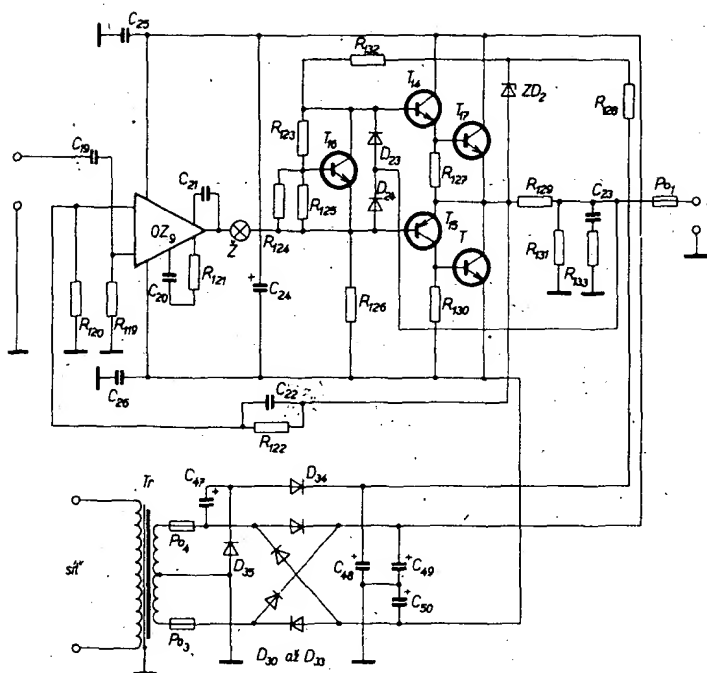
jsou dokonale potlačeny všechny nelinearity, tolerance a tím i zkreslení. Účinnou zpětnovazební smyčkou jsou současně definovány parametry zesilovače. Protože vstupní napětí (díky předchozímu úrovněmu zesilovači) nemůže být v žádném případě větší než 0 až 5 V, je signál přiveden na neinverující vstup bez úprav. Kmitočtové korekce OZ jsou navrženy podle běžných zásad. Výstup OZ napájí přes proudové závislý odpor (žárovka Z_1), zabraňující poškození OZ při zkratu na výstupu nebo při havárii výkonové části) dvojčinný výkonový zesilovač v kvazikomplementárním uspořádání. Základní předpětí k odstranění přechodového zkreslení klidovým proudem zajišťuje zpětnovazební regulátor s T_{16} , který díky tepelné vazbě s chladičem působí i jako teplotní regulátor klidového proudu. Zde je výhodné použít tranzistor KC147 (v plastickém pouzdru). Kmitočtová stabilita a přenosová charakteristika celého



Obr. 84. Elektrické schéma pedálu (K_1 až K_4 jsou ovládnuty – řazeny – postupně)



Obr. 85. Náhradní schéma a přenosové charakteristiky pedálového korektoru v závislosti na kapacitě C_x



Obr. 86. Zapojení výkonového zesilovače a zdroje

zesilovače jsou zajištěny za všech možných pracovních podmínek součinností Bouchero-tova kompenzačního článku a kmitočtové závislé smyčky záporné vazby. Funkce i návrh těchto obvodů, stejně jako obvodu k omezení výstupního proudu s diodami D_{23} , D_{24} a s odporem R_{129} , byly popsány v [17].

Zesilovač je napájen z jednoduchého a nestabilizovaného symetrického zdroje. Sekundární napětí se dvoucestně usměrňuje a filtruje. Pomocné napětí pro předpětový obvod zesilovače se získává zdvojovacím napětím a omezuje stabilizační diodou ZD_2 tak, aby byl vhodně nastaven průběh zatěžovacího proudu OZ v rozsahu rozkmitu jeho výstupního napětí. Aby se při havárii nebo při přetížení (zkratu) výkonového obvodu nezničili výkonové tranzistory, je zdroj opatřen dvěma pojistkami v obvodu sekundárního vinutí. Tak je v součinnosti s omezením výstupního proudu koncového stupně levně zajištěna účinná ochrana celého zesilovače. Předností zapojení je vedle dobrých a definovaných parametrů i snadná reprodukovatelnost, jednoduchá konstrukce a oživení. Vzhledem k podrobnému popisu návrhu i konstrukce zesilovače v [17] se jím dále nebudeme zabývat.

Celkové schéma nástroje

Nyní si můžeme popsat úplné elektrické schéma nástroje (obr. 87). Zde je již respektováno rozdělení elektroniky na tři desky s plošnými spoji, které vyplynulo z konstrukčních požadavků.

Na desce 1 jsou obvody základních generátorových jednotek melodické i basové části, spouštěcí obvody pro trikový generátor, generátor 7 Hz, kompletní výkonový zesilovač kromě snímacího a výkonových tranzistorů (které jsou umístěny na zadním panelu) a zdroj ± 12 V, $+5$ V. Tato deska je nosnými profily upevněna na dřevěné desce, tvořící základní část nástroje.

Na desce 2 jsou obvody tremola, trikový systém a úroveň zesilovače. Tato deska je upevněna na horním, ovládacím panelu.

Na desce 3, upevněné rovněž na základním šasi, je pouze zdroj pro výkonový zesilovač.

Ostatní obvody a součásti z celkového schématu, které jsou zakresleny mimo uvedené desky (jako např. síťový transformátor a některé odpory a kondenzátory) jsou uloženy buď na základním šasi, nebo horním či zadním panelu.

Z celkového schématu je podle předchozího popisu dílčích obvodů zřejmá činnost celého nástroje. Způsob propojení desky 1 s ovládací kontaktoovou sběrnici je patrný z obr. 88. Pro lepší orientaci je na obr. 89 uspořádání horního ovládacího panelu, z něhož vyplývá rozložení a součinnost jednotlivých prvků.

Konstrukční úprava tahových potenciometrů a tlačítek stopových filtrů RC umožňuje snadné a přehledné ovládání registrové syntézy hudebního signálu jak melodické, tak basové části. Balanční regulátory jsou logaritmické, protože však pracují do zatěžovacího odporu, tvořeného jejich paralelní kombinací $R_z \ll R_e$, vyhovuje průběh regulace všem požadavkům. Rozložení regulačních prvků odpovídá poloze melodické i basové části manuálu a zaujímá asi 2/3 pravé části panelu (předpokládá se pouze výjimečné ovládání během hry). V levé třetině nástroje jsou tlačítka volby a ovládání efektů a triků. Předpokládá se ovládání levou rukou, která je při hře méně zaměstnaná.

Horní řada pěti spínacích tlačítek (obr. 89) je určena pro trikové efekty. První tlačítko zleva (TRIK, ve schématu K_{13}) určuje charakter triku. Druhé (+T, ve schématu K_{14}) při vybavení prodlužuje časovou konstantu zvoleného průběhu. Následující tři tlačítka (MIN, NOM, MAX, ve schématu K_{15} , K_{16} a K_{17}) definují dynamický rozsah triku, jsou společná pro oba základní efekty. Imitace jazykových nábehů i perkuse jsou svým charakterem vhodným doplňkem nástroje, je ovšem třeba si na jejich užívání zvyknout. Z mé zkušenosti vyplývá, že napoprvé jich nikdo nedokáže správně využít. Pro úplnost dodejme, že „TRIK“ je vyrazen při uvolnění všech tří posledně jmenovaných tlačítek.

Spodní řada spínacích tlačítek slouží k ovládání a vybavování efektů. První (VIBR, ve schématu K_6) zapíná a vypíná vibrato. Ve vypnutém stavu jsou modulační vstupy generátorů 1 až 6 spojeny s kostrou

přes společný odpor 100 Ω , srovnatelný s vnitřním odporem zdroje modulačního kmitočtu 7 Hz, čímž je zajištěna minimální kmitočtová odchylka při přepnutí. Druhé tlačítko (TREM, ve schématu K_8) vybavuje efekt tremola. Následují opět tři ovládací tlačítka úrovně efektů (MIN, NOM, MAX, na schématu K_{10} , K_{11} a K_{12}), která znovu slouží současně pro oba efekty, podle toho, který je zvolen. Tlačítka se volí úroveň oscilační amplitudy modulačního generátoru a tím i účinnost vibrato (poměrná hodnota modulačního zdvihu). Tlačítka je současně volena úroveň modulačního napětí pro řídicí elektrodu T_{19} , tedy hloubka amplitudové modulační komplexního melodického signálu (účinnost tremola). Systém volby umožňuje jak samostatně použít vibrato nebo tremolo, tak i jejich kombinaci. Hodnotami součástí je ve třech stupních určen vzájemný poměr obou efektů, při uvolnění všech tří tlačítek se získá mimořádně účinný čtvrtý stupeň, kdy má modulační signál lichoběžníkový průběh. Rovněž tento stupeň může být užít u jednotlivých nebo kombinovaných efektů.

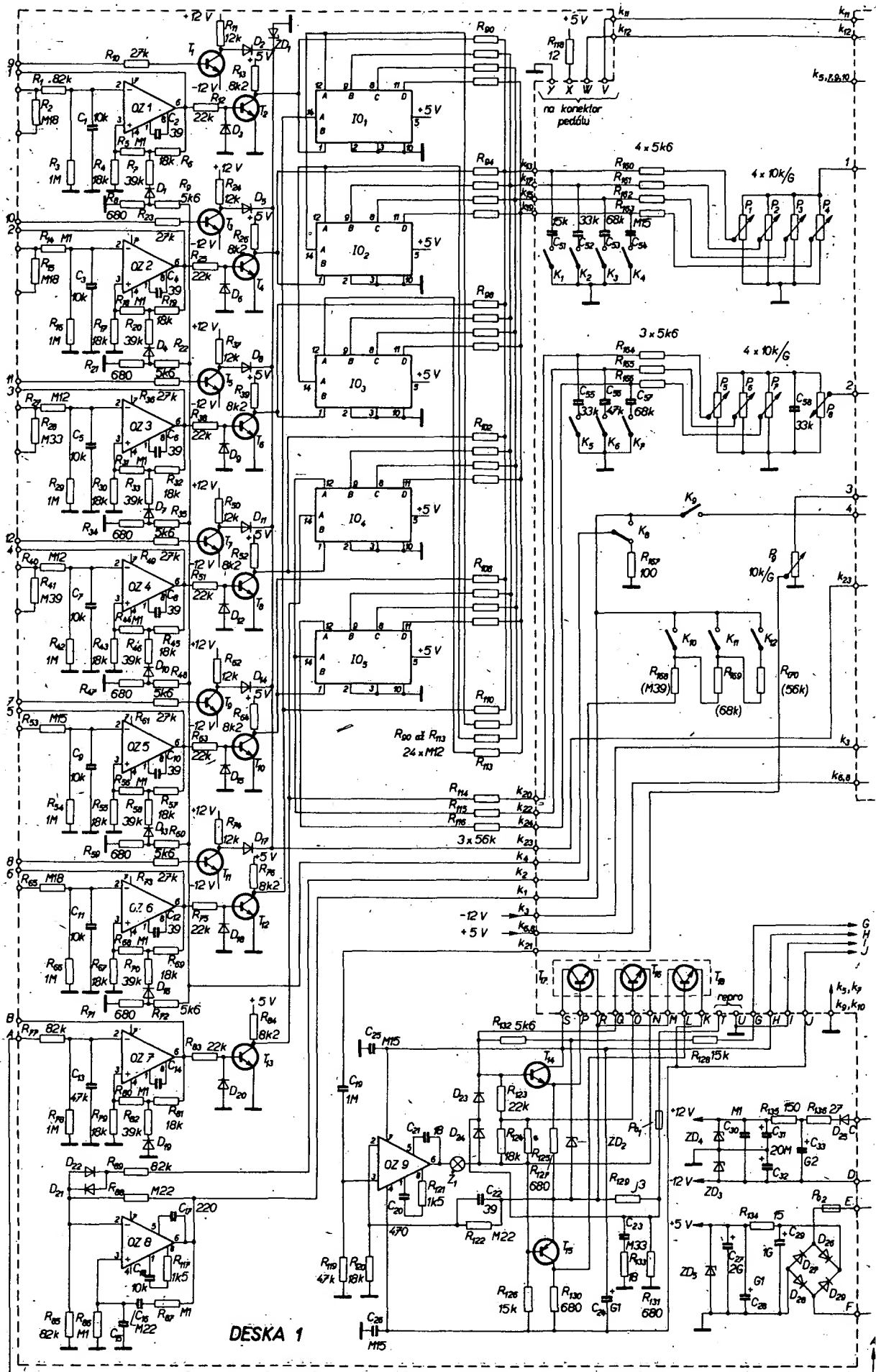
Na panelu jsou ještě umístěny tahové potenciometry BAS (určující poměr hlasitosti basového doprovodu k melodické části skladby) a HLASITOST (jímž se upravuje možná horní hranice dynamického rozsahu nástroje). Oba tyto prvky jsou na rozdíl od předchozích ovládané v horizontálním směru, z čehož je na první pohled zřejmá jiná funkce.

Jako tlačítka byly použity tlačítkové spínače Isostat. Na panelu již nejsou žádné další ovládací prvky.

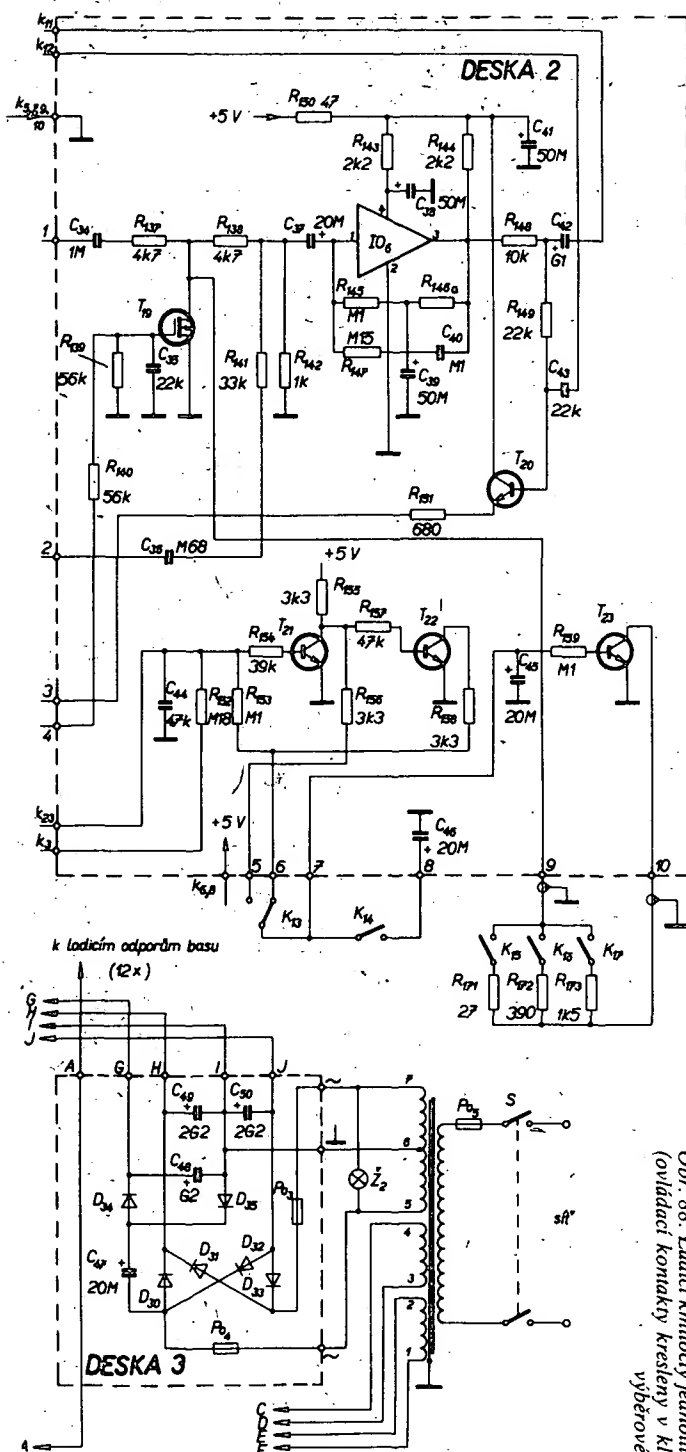
Funkci generátorových jednotek, infra-zvukového generátoru, tremola, trikových obvodů a úrovně zesilovače jsme si již podrobně probrali. Signál z úrovně zesilovače je po úpravě pedálem zaváděn na výkonový zesilovač. Maximální úroveň tohoto signálu je upravena tak, aby ani při plném zesílení všech regulátorů nemohl být při jmenovité zátěži (4 Ω) zesilovač přetížen, tj. omezen výstupní signál; maximální nezkreslený výstupní výkon je asi 16 W. Bude-li zatěžovací odpor z nějakého důvodu menší, bude zesilovač ve špičkách limitovat, což lehce poznáme sluchem; jinak se však nestane nic. Při případném zkratu na výstupu se přeruší obě pojistky ve zdroji (P_{01} , P_{02}). Výstupní tranzistory jsou izolované upevněny na zadním, masivním hliníkovém panelu, takže nehrozí nebezpečí jejich zničení překročením povolené pracovní teploty.

Pokud jde o přeslech a odstup užitečného signálu, jsou vlastnosti nástroje, díky koncepci a malým impedancím obvodů s malou úrovní signálu, velmi dobré. Jedinou potíž jsem měl s přeslech stopových signálů do smyčky záporné zpětné vazby výkonového zesilovače, což bylo způsobeno nepozorností při návrhu desky s plošnými spoji. Na publikované desce je již tento nedostatek odstraněn.

Za povšimnutí snad ještě stojí zapojení zdrojů, které jsou v nástroji celkem tři, všechny v úsporném provedení. Zdroj pro výkonový zesilovač byl již popsán. Jako filtrační kondenzátory byly použity typy Siemens B 7228 – 2G2/40 V, které mohou být nahrazeny např. typy TESLA TE 676. Zdroj pro napájení OZ je jednoduchý, s jednocestným usměrňováním a stabilizací dvojicí vybraných diod typu 6NZ70. Symetrie obou napětí je jedinou, avšak důležitou podmínkou správné činnosti. Maximální odchylka musí být menší než 0,2 V, pro výběr stačí měření běžným voltmetrem při stálém proudu vybranými diodami. Absolutní velikost obou napětí není kritická a může se pohybovat v rozsahu asi 11 až 13 V. Rovněž zdroj $+5$ V je jednoduchý, po usměrňování Graetzovým můstkem se ss napětí filtruje a stabilizuje vybranou diodou 1NZ70 se Zenerovým napětím menším než 5,3 V. Dioda je opatře-



Obr. 87. První část celkového schématu přístroje



Obr. 87. Druhá část celkového schématu přístroje

na jednoduchém hliníkovém chladičem. Zdroj +5 V je chráněn tavnou pojistkou, zdroj ± 12 V je chráněn způsobem zapojení (odpor R_{136} v sérii s diodou D_{25}). Síťový transformátor musí být proto, že výkonový zesilovač pracuje bez stabilizace napájecího napětí, poměrně přesně dimenzován. Napájecí napětí pro výkonový zesilovač nesmí být větší než ± 18 V, a to ani při provozu naprázdno, ani s ohledem na tolerance síťového napětí. Při návrhu je vhodné počítat se stejnosměrným napětím přibližně 15 až 16 V (naprázdno), volit dostatečně dimenzované jádro i průměr drátu sekundárního vinutí. Na primárním vinutí je možné vyvést odbočky

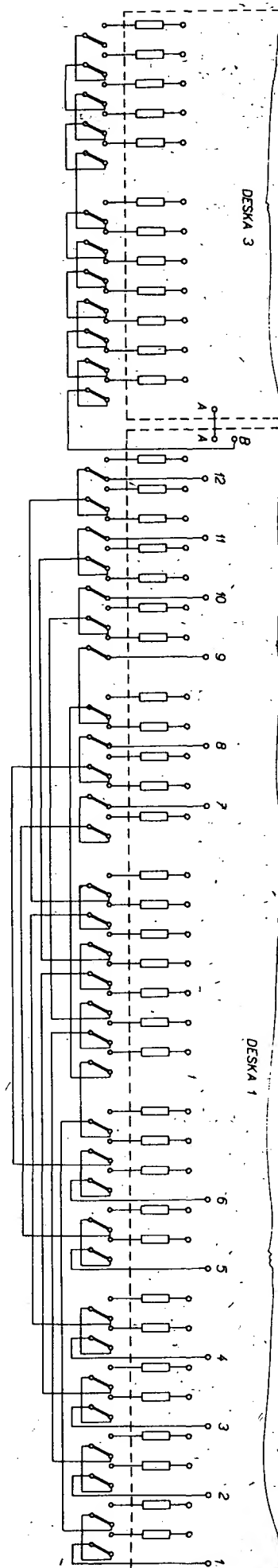
Obr. 88. Ladičí knoflíčky jednotlivých kláves, zapojení kontaktné sběrnice a ladičích odporů (ovládací kontakty kresleny v klidových polohách, knoflíčky jsou v Hz, jako odpory slouží výběrové ladičí kombinace R_{11} , R_{12} – viz text)

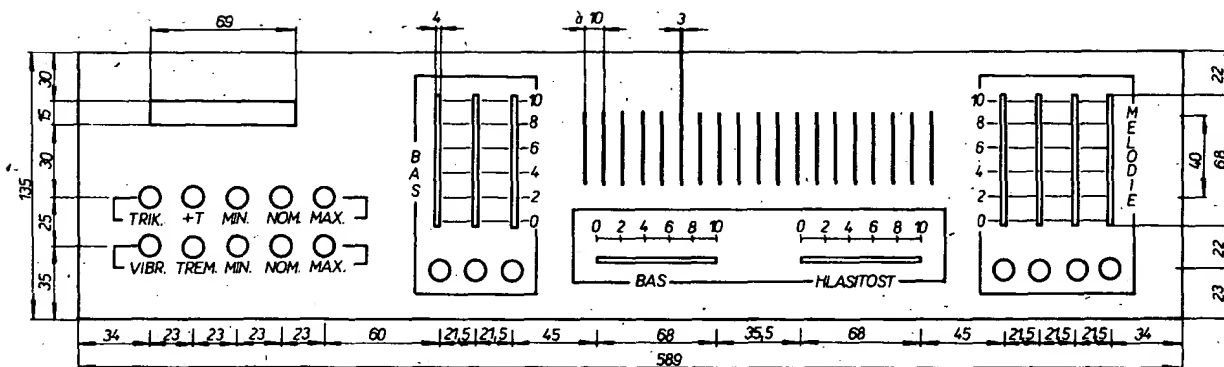
130,8	f
146,8	g
164,8	a
174,6	h
196,0	c
220,0	d
246,9	e

349,2	f
392,0	g
440,0	a
493,9	h
523,2	c
587,3	d
659,3	e

698,5	f
784,0	g
880,0	a
987,8	h
1046,5	c
1174,7	
138,5	

1396,9	
1568,0	
1760,0	
1975,5	
2093,0	





Obr. 89. Orientační rozměry, popis a rozložení prvků ovládacího panelu (průměry vrtaných děr jsou 12,5 mm)

a jejich využitím pak upravit napájecí napětí pro výkonový zesilovač při jmenovitém síťovém napětí (220 V) na požadovanou velikost.

To je asi vše, co je třeba uvést k celkovému schématu. Ostatní skutečnosti již dostatečně vyplynuly z popisu dílčích obvodů.

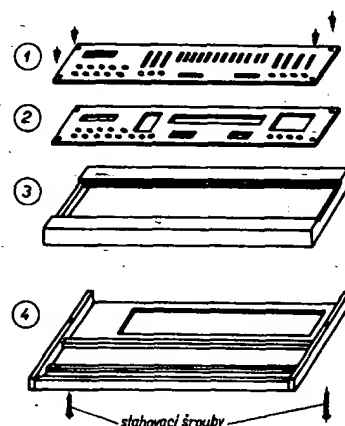
Vlastní konstrukce nástroje Mechanická koncepce

Elektrické parametry nikdy nejsou jedinými vlastnostmi zařízení, které je třeba kriticky hodnotit. U hudebních nástrojů to platí především. Naším cílem je konstrukce malého a spolehlivého nástroje, který by ve své kategorii dosahoval nejlepších výkonů. Elektronická část k tomu dává dobré předpoklady. Možnosti mechanické úpravy je jistě celá

řada, pro minimální rozměry nástroje se však jeví jako výhodné použít akordeonové klávesy a plochou skříň s ovládacím panelem shora. K tomu je právě vhodný ovládací systém s tahovými potenciometry a s tlačítky. Samozřejmými požadavky na konstrukci jsou jednoduchost, snadná montáž, robustní provedení a konečně i dobrý přístup k jednotlivým dílům vzhledem k případným opravám. Stejný cíl sleduje i požadavek jednoduché demontáže všech dílů, včetně manuálu a sběrnice.

Zvolené řešení je na obr. 90. Nástroj se skládá ze dvou částí, ze spodního (základního) a z horního dílu, což je kromě jiného výhodné i pro rozložení práce. Elektrické propojení obou částí zajišťuje jediný konektor.

(Dokončení v AR B4/77)



Obr. 90. Mechanická koncepce nástroje; 1 – ovládací panel, 2 – subpanel, 3 – horní díl skříně, 4 – spodní díl, základní šasi

VYŘÍZUJEME ZÁSILKOVÝ PRODEJ NA DOBÍRKU

všech objednávek

od obyvatelstva i organizací v ČSSR, které došly přímo na naši prodejnu, nebo prostřednictvím n. p. TESLA ROŽNOV a TESLA LANŠKROUN, v sortimentu:

VAKUOVÁ TECHNIKA, polovodičové prvky, integrované obvody, hybridní integrované obvody, displeje a svítící diody;

PŘÍRUČNÍ KATALOGY, konstrukční katalogy a obchodně technická dokumentace;

SERVISNÍ A TECHNICKÁ DOKUMENTACE na všechny finální výrobky spotřební elektroniky TESLA, pokud je má prodejna na skladě;

KOMPLETY SOUČÁSTEK včetně desek s plošnými spoji podle návodů na zařízení, publikovaných v časopise AMATÉRSKÉ RADIO, řada A a B, pokud je tak v daném článku uvedeno. Jednotlivé součástky prodáváme při osobním odběru přímo v prodejně;

OSTATNÍ SORTIMENT zboží zašíláme na dobírku jen tehdy, má-li prodejna volnou pracovní kapacitu. Nevyřízené objednávky postoupíme ZÁSILKOVÉ SLUŽBĚ TESLA, UHERSKÝ BROD, PSČ 688 19, Za dolním kostelem 847.

ZÁJEMCE Z PARDUBIC A OKOLÍ ZVEME K OSOBNÍ NÁVŠTĚVĚ naší prodejny. Ochotně předvedeme veškeré zboží – od televizorů přes gramofony, magnetofony a další finální výrobky až po drobný sortiment pro radioamatéry, kutily i profesionály – ti všichni mají možnost pohodlného výběru podle vzorkovníků!

PORADENSKÁ SLUŽBA AMATÉRŮM I ORGANIZACÍM! PŘEZKOUŠOVÁNÍ VÝROBKŮ TĚŽ PŘED ZÁKAZNÍKEM PŘI PRODEJI! DŮKLADNÉ ZAHOŘOVÁNÍ TELEVIZORŮ PŘED JEJICH PRODEJEM!

NAŠE SPECIALIZACE A PŘÍMÉ DODÁVKY: elektronické měřicí přístroje tuzemské i z dovozu podle vzorků n. p. TESLA BRNO, polovodičové prvky a vakuová technika podle vzorků n. p. TESLA ROŽNOV, součástky pro elektroniku podle vzorků n. p. TESLA LANŠKROUN.

NAŠE ADRESA:

značková prodejna TESLA, Pardubice PSČ 530 02, Palackého 580.

služby PARDUBICKÉ

PRODEJNÝ TESLA

Reproduktory

Mikrofony

Zesilovače

Konektory

Polovodiče

Elektronky

Odpory

Kondenzátory

Televizní antény

Speciální prodejny

RADIOAMATÉR

PRAHA 1, Žitná 7
PRAHA 1, Na poříčí 44



DOMÁCÍ POTŘEBY
PRAHA